A FRENCH READER FOR SCIENCE STUDENTS

First Published in 1926

PRINTED IN GREAT BRITAIN

PREFACE

THE present volume has been compiled at the suggestion of science masters who complained that existing manuals of scientific French fail in two directions: firstly, the matter presented is apt to be too elementary, and, secondly, it is without distinction or is actually translated from the English. Whether these criticisms are justified or not, I have tried to produce something against which they could not be directed.

I have, in the first place—while attempting to grade the passages at the beginning of the main sections—aimed at providing (as in the companion German volume) extracts by the most eminent living authorities on those problems of their subject which are most interesting to scientists to-day, and I have looked for passages which by the vigour of their presentation are likely to fix themselves, both as French and as scientific knowledge, in the reader's mind.

In the second place I have been anxious to give a picture of contemporary French science, although at the request of several scientists I have inserted a few passages from the great discoverers of previous generations.

Lest I should appear to be claiming credit for myself, I must say that my search has been guided by those familiar with the regions in which I was, sometimes, an awe-struck tourist. East London College has shared with Birkbeck College in the shaping of the book, and if I do not mention names here it is merely so that any censure unwittingly incurred may not be diverted from my head.

It must be obvious that such a wealth of copyright matter could not have been offered without generous help from French publishers. I have taken copiously from several scientific collections which are household words in France—mainly from the series published by Gaston Doin et Cie and Les Presses Universitaires de France, but also from the handy

and excellent "Collection Payot," the "Collection Armand Colin," and the "Nouvelle collection scientifique" of Félix Alcan. It is with pleasure that I direct the attention of English students to these series—the volumes of which may well be used in continuation of this introductory manual—as well as to the more expensive volumes from which I have been permitted to glean. I am indebted, too, to Professor R. Chodat of Geneva for permission to quote from his *Principes de botanique*; for other passages to Vuibert, Uystpruyst-Dieudonné (of Louvain), Garnier Frères, Librairie Larousse, Ch. Béranger, Librairie Delagrave, Messieurs Masson et Cie, Dunod, J.-B. Baillière et Fils, Librairie scientifique A. Hermann et Fils, Ernest Flammarion, Étienne Chiron; to the Frères chrétiens for extracts from the *Cours d'algèbre* by F. G.-M.; to the French Ministry of Public Works for a geological passage; to the *Société de l'histoire nationale* for an extract from *L'histoire des sciences en France,* edited by Monsieur Gabriel Hanotaux; to M. Henry Varigny for a *feuilleton* from the *Journal des Débats*; and to the Senate of the University of London for permission to reprint examination papers.

J. BITHELL

April, 1926

CONTENTS

SECTION II. PHYSICS

SECTION III. MATHEMATICS

SECTION IV. GEOLOGY

SECTION V. BOTANY

SECTION VI. ZOOLOGY

A FRENCH READER FOR SCIENCE STUDENTS

SECTION I. CHEMISTRY

Chimie minérale et chimie organique

La chimie organique fut d'abord la chimie des corps produits par les êtres vivants, et dont la formation en dehors de la vie était considérée comme impossible ; on croyait alors à l'existence d'une force chimique spéciale que l'on appelait *force vitale*, et l'on supposait que tous les produits fabriqués par les êtres vivants formaient une catégorie à part, une classe spéciale de corps que la main de l'homme ne pourrait jamais reproduire ; de là le nom de *chimie organique*, c'est-à-dire chimie des produits fournis par les organismes vivants.

Mais Wöhler, en 1828, transforma le cyanate d'ammoniaque en *urée*, corps d'origine essentiellement organique, que l'on trouve dans l'urine. C'était la première *synthèse organique*, c'est-à-dire la formation d'un corps organique, en partant de composés plus simples et dont on avait réalisé la formation directe, la création de toutes pièces, en partant des éléments et en dehors des phénomènes de la vie.

Depuis ce temps, la science chimique a fait dans cette voie des progrès considérables, car on a réalisé, à l'aide des procédés chimiques, la reproduction d'une foule de corps qui nous sont fournis par les êtres vivants, plantes et animaux. Tels sont les sucres, les matières colorantes comme l'alizarine et l'indigotine ; telle est encore la synthèse de certains alcaloïdes, comme la cicutine qui existe dans la ciguë. Bien plus, on a pour ainsi dire complété l'œuvre de la nature, en préparant des séries de corps qui n'existent point chez les

êtres vivants et qui se sont trouvés doués de propriétés diverses : tinctoriales, thérapeutiques, etc.

Aussi est-il permis de penser aujourd'hui, qu'on pourra reproduire tous les corps fabriqués par la nature ; l'idée d'une force spéciale dérivant des phénomènes vitaux, capable de faire des réactions chimiques particulières, doit donc être écartée.

Le mot de chimie organique est donc impropre, puisque le chimiste peut, dans son laboratoire, obtenir les mêmes corps que la nature. On a cependant conservé le terme de chimie organique.

Comment définir cette partie de la chimie ?

Nous la définirons, en disant qu'elle s'occupe des composés qui renferment du carbone dans leur molécule.

Par cela même qu'un corps renferme du carbone, nous le rangerons dans la chimie organique. Cette dernière n'est donc autre chose que le développement d'un chapitre de la chimie minérale : ce développement est tel, il est vrai, qu'il surpasse à lui seul et de beaucoup tout l'ensemble des autres chapitres, mais on ne peut pas songer à établir une distinction nette entre les deux chimies.

On a voulu invoquer la stabilité des produits minéraux opposée à celle des produits organiques ; on a mis encore en avant les isoméries fréquentes dans les composés du carbone, rares dans les composés minéraux. En réalité, ce ne sont pas là des distinctions sérieuses. En quoi consiste la stabilité de l'ozone, de l'azotite et de l'azotate d'ammonium, du chlorate de potassium, de l'acide azoteux, du chlorure d'azote et d'un certain nombre de sels qui déjà perdent de l'eau à froid ?

Quant aux isoméries, c'est-à-dire à l'impossibilité d'obtenir un grand nombre de dérivés possédant la même composition chimique, elles tiennent, surtout en chimie organique, à la faculté que possède le carbone de se combiner avec lui-même. Dans un corps renfermant plusieurs atomes de carbone, il y a possibilité d'un nombre d'arrangements moléculaires d'autant plus grand que le nombre des atomes de carbone est plus considérable. Du reste, les corps qui ne renferment qu'un seul atome de carbone présentent très peu d'isomères.

Il n'y a donc qu'une seule chimie.

BEHAL ET VALEUR : *Traité de chimie organique.* Paris : Gaston Doin et Cie.

LES GÉNÉRATIONS SPONTANÉES

Voici une fusion de matière organique d'une limpidité parfaite, limpide comme de l'eau distillée, et qui est extrêmement altérable. Elle a été préparée aujourd'hui. Demain déjà elle contiendra des animalcules, de petits infusoires ou des flocons de moisissures.

Je place une portion de cette infusion de matière organique dans un vase à long col, tel que celui-ci. Je suppose que je fasse bouillir le liquide et qu'ensuite je le laisse refroidir. Au bout de quelques jours, il y aura des moisissures ou des animalcules infusoires développés dans le liquide. En faisant bouillir, j'ai détruit les germes qui pouvaient exister dans le liquide et à la surface des parois du vase. Mais, comme cette infusion se trouve remise au contact de l'air, elle s'altère comme toutes les infusions.

Maintenant, je suppose que je répète cette expérience, mais qu'avant de faire bouillir le liquide, j'étire, à la lampe d'émailleur, le col du ballon, de manière à l'effiler, en laissant toutefois son extrémité ouverte. Cela fait, je porte le liquide du ballon à l'ébullition, puis je le laisse refroidir. Or, le liquide de ce deuxième ballon restera complètement inaltéré ; non pas deux jours, non pas trois, quatre, non pas un mois, une année, mais trois et quatre années, car l'expérience dont je vous parle a déjà cette durée. Le liquide reste parfaitement limpide, limpide comme de l'eau distillée. Quelle différence y a-t-il donc entre ces deux vases ? Ils renferment le même liquide, ils renferment tous deux de l'air, tous les deux sont ouverts. Pourquoi donc celui-ci s'altère-t-il, tandis que celui-là ne s'altère pas ? La seule différence qui existe entre les deux vases, la voici. Dans celui-ci, les poussières qui sont en suspension dans l'air et leurs germes peuvent tomber par le goulot du vase et arriver au contact du liquide où ils trouvent un aliment approprié, et se développent. De là, les êtres microscopiques. Ici, au contraire, il n'est pas possible, ou du moins il est très difficile, à moins que l'air ne soit vivement agité, que les poussières en suspension dans l'air puissent entrer dans ce vase. Où vont-elles ? Elles tombent sur le col recourbé. Quand l'air rentre dans le vase par les lois de la diffusion et les variations de température, celles-ci n'étant jamais brusques, l'air rentre lentement et assez lentement pour que ses poussières et toutes les particules solides

qu'il charrie tombent à l'ouverture du col, ou s'arrêtent dans les premières parties de la courbure.

Cette expérience est pleine d'enseignements. Car remarquez bien que tout ce qu'il y a dans l'air, tout, hormis ses poussières, peut entrer très facilement dans l'intérieur du vase et arriver au contact du liquide. Imaginez ce que vous voudrez dans l'air, électricité, magnétisme, ozone, et même ce que nous n'y connaissons pas encore, tout peut entrer et venir au contact de l'infusion. Il n'y a qu'une chose qui ne puisse pas rentrer facilement, ce sont les poussières en suspension dans l'air, et la preuve que c'est bien cela, c'est que, si j'agite vivement le vase deux ou trois fois, dans deux ou trois jours il renferme des animalcules et des moisissures. Pourquoi ? Parce que la rentrée de l'air a eu lieu brusquement et a entraîné avec lui les poussières.

Et par conséquent, messieurs, moi aussi, pourrais-je dire en vous montrant ce liquide, j'ai pris dans l'immensité de la création ma goutte d'eau, et je l'ai prise toute pleine de la gelée féconde, c'est-à-dire, pour parler le langage de la science, toute pleine des éléments appropriés au développement des êtres inférieurs. Et j'attends, et j'observe, et je l'interroge, et je lui demande de vouloir bien recommencer pour moi la primitive création ; ce serait un si beau spectacle ! Mais elle est muette ! elle est muette depuis plusieurs années que ces expériences sont commencées. Ah ! c'est que j'ai éloigné d'elle et que j'éloigne encore en ce moment, la seule chose qu'il n'ait pas été donné à l'homme de produire, j'ai éloigné d'elle les germes qui flottent dans l'air, j'ai éloigné d'elle la vie, car la vie c'est le germe et le germe c'est la vie. Jamais la doctrine de la génération spontanée ne se relèvera du coup mortel que cette simple expérience lui porte.

LOUIS PASTEUR : *Conférences sur les générations spontanées.* (*Œuvres de Pasteur,* Tome *II.*) Paris : Masson et Cie.

ORIGINE ET PORTÉE DES IDÉES ALCHIMIQUES

Je prends un minerai de fer, soit l'un de ses oxydes si répandus dans la nature ; je le chauffe avec du charbon et du calcaire et j'obtiens le fer métallique. Mais celui-ci à son tour, par l'action brusque du feu au contact de l'air, ou par l'action lente des agents atmosphériques, repasse à l'état d'un oxyde, identique ou analogue avec le générateur primitif. Où est ici

l'élément primordial, à en juger par les apparences ? Est-ce le fer, qui disparaît si aisément ? Est-ce l'oxyde, qui existait au début et se retrouve à la fin ? L'idée du corps élémentaire semblerait *a priori* convenir plutôt au dernier produit, en tant que corrélative de la stabilité, de la résistance aux agents de toute nature. Voilà comment l'or a paru d'abord le terme accompli des métamorphoses, le corps parfait par excellence : non seulement à cause de son éclat, mais surtout parce qu'il résiste mieux que tout autre métal aux agents chimiques.

Les corps simples, qui sont aujourd'hui l'origine certaine et la base des opérations chimiques, ne se distinguent cependant pas à première vue des corps composés. Entre un métal et un alliage, entre un élément combustible, tel que le soufre ou l'arsénic, et les résines et autres corps inflammables combustibles composés, apparences ne sauraient établir une distinction fondamentale. Les corps simples dans la nature ne portent pas une étiquette, s'il est permis de s'exprimer ainsi, et les mutations chimiques ne cessent pas de s'accomplir, à partir du moment où elles ont mis ces corps en évidence. Soumis à l'action du feu ou des réactifs qui les ont fait apparaître, ils disparaissent à leur tour ; en donnant naissance à de nouvelles substances, pareilles à celles qui les ont précédées.

Nous retrouvons ainsi dans les phénomènes chimiques cette rotation indéfinie dans les transformations, loi fondamentale de la plupart des évolutions naturelles ; tant dans l'ordre de la nature minérale que dans l'ordre de la nature vivante, tant dans la physiologie que dans l'histoire. Nous comprenons pourquoi, aux yeux des alchimistes, l'œuvre mystérieuse n'avait ni commencement ni fin, et pourquoi ils la symbolisaient par le serpent annulaire, qui se mord la queue : emblême de la nature toujours une, sous le fond mobile des apparences.

M. Berthelot : *Les origines de l'alchimie.* Paris : Masson et Cie.

Classification

La découverte de l'isomérie, les diverses tentatives de classification systématique des éléments ont soulevé les problèmes les plus généraux de la chimie. Les anciens alchimistes rêvaient de transmuter les métaux les uns dans les autres. Lavoisier a montré, il y a cent ans, que l'origine

des phénomènes chimiques ne dépasse jamais ce qu'il nommait les corps simples et en particulier les métaux dont le poids se maintient toujours invariable. C'est cette invariabilité de poids, vérifiée par des milliers d'expérimentateurs, qui a fait évanouir l'illusion de la transmutation. La notion de l'éxistence d'un certain nombre d'éléments distincts s'est donc imposée à nous par la force de l'expérience, mais cette limite n'est guère acceptée par les chimistes que comme un fait actuel qu'ils ont l'espérance de dépasser. La première tentative qui ait été faite dans ce sens est celle de Prout, chimiste anglais, qui proposa, en 1815, de ramener les équivalents ou poids atomiques de tous les éléments à une même unité fondamentale. Il soutint que les poids atomiques de tous les corps simples sont des multiples de celui de l'hydrogène ; tous les corps simples seraient alors constitués par des arrangements divers de l'atome du plus léger de tous ; ils représenteraient les divers états de condensation de l'hydrogène. Cette hypothèse n'a pas résisté au contrôle de l'expérience. L'analyse a fourni, à côté de quelques poids atomiques identiques aux multiples de l'hydrogène, une multitude de nombres intermédiaires. On a alors essayé de réduire à la moitié, puis au quart l'unité fondamentale. M. Dumas, qui s'était rallié à l'idée de Prout, proposa, en effet, de reculer dans l'inconnu jusqu'à un élément nouveau quatre fois plus léger, qui formerait par sa condensation l'hydrogène lui-même. Mais cette hypothèse, qui enlève à la théorie une partie de son caractère précis et séduisant, ne suffit même pas. Les analyses de M. Stas l'amenèrent à conclure, en 1860, à la suite d'une série de recherches d'une incomparable exactitude sur l'azote, le chlore, le soufre, le potassium, le plomb et l'argent, „ qu'il n'existe point de commun diviseur entre les poids des corps simples qui s'unissent pour former toutes les combinaisons définies" et que l'hypothèse de Prout est „ une pure illusion." Est-ce à dire pourtant que tout soit chimérique dans cet ordre d'idées ? Les phénomènes si curieux et si importants de l'isomérie et de la polymérie doivent tout au moins nous garder d'une négation trop précipitée.

Ce fut avec une vive surprise que les chimistes constatèrent que la connaissance de la composition d'un corps et celle de son équivalent ne suffisent pas pour le définir. L'identité de composition n'entraîne pas l'identité des propriétés. C'est ce que l'on observa d'abord sur le gaz de l'huile découvert par

Faraday en 1825 et sur le gaz oléfiant ; on découvrit également deux oxydes d'étain doués de propriétés différentes, plusieurs acides phosphoriques doués d'une capacité de saturation distincte ; on reconnut que l'acide fulminique, l'acide cyanique et l'acide cyanurique avaient la même composition ; ces résultats parurent si paradoxaux qu'on les contesta d'abord. Enfin, Berzélius démontra que l'acide tartrique et l'acide racémique ont même composition, même équivalent, même capacité de saturation. Il réunit alors l'ensemble des résultats connus dans la théorie de l'isomérie (1831).

L'isomérie ne s'observe pas seulement sur les corps composés, mais encore sur les corps simples. Elle prend alors le nom d'allotropie. Le soufre, par exemple, existe sous deux formes cristallines distinctes ; le phosphore se présente sous deux états dont les propriétés sont distinctes et presque opposées ; l'oxygène existe sous une forme allotropique, l'ozone. Il y a plus : le nickel et le cobalt possèdent des poids atomiques identiques, des propriétés semblables, et engendrent deux séries de composés parallèles. Il y a donc là une isomérie des plus nettes, et si l'isomérie peut s'expliquer dans les corps composés par un groupement différent des molécules, n'est-on pas amené à penser que ces deux corps prétendus simples sont formés aussi par des arrangements différents de certaines matières élémentaires plus simples qu'eux-mêmes ?

A côté des éléments isomères s'en rangent d'autres dont les poids atomiques sont multiples les uns des autres. Tel est le cas pour l'oxygène, le soufre, le sélénium, le tellure, qui forment des séries de composés parallèles avec l'hydrogène, les métaux, l'oxygène et la plupart des éléments. Nous trouvons ici des analogies frappantes avec les carbures d'hydrogène ; nombre d'entre eux sont formés des mêmes éléments, unis dans les mêmes proportions, mais de sorte que leurs poids moléculaires soient multiples les uns des autres ; on les dit polymères. La benzine est de l'acétylène trois fois condensé ; elle en dérive par condensation directe et réciproquement on peut revenir du carbure condensé à son générateur. Dès lors pourquoi ne pourrait-on pas former le soufre avec l'oxygène, le sélénium avec le soufre par un procédé de condensation convenable ? Nulle raison théorique ne s'y oppose ; mais en fait on n'y a jamais réussi. Cependant, comme l'a fait ressortir M. Berthelot, il existe une différence profonde entre les composés polymères de la chimie organique

et les éléments simples de la chimie minérale. Si l'on prend, en effet, les divers corps simples sous le même volume gazeux, ou, ce qui revient au même, sous leurs poids moléculaires respectifs, la quantité de chaleur qui produit une même variation de température demeure la même. Elle sera la même pour un litre d'hydrogène et un litre d'azote, bien que le second gaz pèse quatorze fois autant que le premier. Pour les carbures formés avec condensation, cette chaleur croît, au contraire, proportionnellement au poids moléculaire ; elle est trois fois plus forte pour la benzine gazeuse que pour l'acétylène pris sous le même volume. Il y a donc là une différence essentielle qui sépare les corps composés des corps simples proprement dits.

Article "Chimie" in *La Grande Encyclopédie.* Paris : Librairie Larousse.

Carbone. C = 12

Le carbone est un élément qui se rencontre soit dans la nature, soit dans les produits de l'industrie sous des formes très diverses. Le noir de fumée, le graphite, le charbon de sucre, le charbon de bois, les diverses variétés de diamant, sont du carbone. Les caractères extérieurs et les propriétés physiques de ces différents corps présentent de tels contrastes qu'ils ne peuvent être d'aucun secours pour établir leur définition. La plupart de leurs propriétés chimiques ne sont pas identiques, mais un caractère va les rapprocher les uns des autres : ils brûlent tous dans l'oxygène en fournissant, pour 12 gr. de matière brûlée, 44 gr. d'anhydride carbonique. Cette réaction doit être choisie pour caractériser le corps simple.

Nous donnerons donc le nom de carbone à toute substance dont 12 gr. sont susceptibles de brûler dans l'oxygène en produisant 44 gr. d'anhydride carbonique.

On rencontre dans la nature quelques échantillons de diamant ou de graphite satisfaisant à cette condition, mais le plus souvent les variétés de carbone sont impures et renferment diverses substances minérales. Les anthracites, les lignites, certains graphites contiennent de l'hydrogène en proportions très variables. Le carbone, à l'état de combinaisons hydrogénées, nous donne les pétroles, les bitumes, les gaz combustibles (grisou, gaz des marais). Uni à l'hydrogène,

à l'oxygène et à une quantité variable de matières minérales, il forme la houille. Combiné à l'oxygène, il donne l'anhydride carbonique, dont la présence est constante dans l'atmosphère et provient de causes diverses : respiration des animaux et des végétaux, émanations volcaniques, combustions vives et combustions lentes des produits carbonés. Cet anhydride carbonique va se trouver en grande quantité dans les gaz retirés du sol, nous le rencontrerons dans les eaux courantes et dans la mer. A l'état de combinaisons avec les oxydes métalliques, ce même composé nous fournit un certain nombre de minéraux importants tels que les divers calcaires, les carbonates alcalino-terreux, les carbonates de magnésium, de manganèse et de fer.

Dans les premières périodes géologiques des astres, il est vraisemblable que le carbone existait à l'état de carbures métalliques. Puis dans des périodes plus rapprochées, c'est le composé oxygéné, l'acide carbonique qui devient important et enfin, lorsque la température est suffisamment abaissée pour que la vie soit possible, le règne végétal et le règne animal ne peuvent se laisser produire qu'en utilisant les multiples transformations des composés du carbone.

Dès lors l'anhydride carbonique joue un rôle considérable dans les échanges du règne minéral, du règne végétal et du règne animal. La mer devient le grand réservoir de l'acide carbonique gazeux et, le plus souvent, les végétaux préparent l'élaboration des composés mis en œuvre par le règne animal. Pas un tissu, pas une cellule vivant ne se formeront sans composés carbonés. L'importance des composés du carbone est devenue si grande que leur étude a formé un chapitre de notre science d'une incomparable grandeur, la chimie organique.

Toutes les variétés de carbone peuvent être divisées en trois groupes bien nets : les diamants, les graphites et les carbones amorphes.

Traité de chimie minérale, ed. Henri Moissan, Tome deuxième. Paris : Masson et Cie.

Carbones de pyrogénation

Les matières organiques, chauffées à l'abri de l'air à une température suffisamment élevée, se décomposent et abandonnent un résidu charbonneux plus ou moins riche en carbone. Ces résidus renferment toujours une certaine quantité

d'hydrogène qui va en diminuant au fur et à mesure que la température de décomposition s'élève. La présence de cet hydrogène s'explique aisément par l'existence de carbures d'hydrogène riches en carbone, d'une grande stabilité à haute température, tels que le carbopétrocène de Prunier, qui renferme 96 à 97 pour 100 de carbone.

Dans son remarquable mémoire sur la théorie des corps pyrogénés, Berthelot, à la suite de son étude des condensations successives des carbures d'hydrogène sous l'influence de la chaleur, explique ainsi le mode de production du carbone dans ces réactions pyrogénées :

„ Nous avons vu, par l'exemple du formène et du benzène, comment l'influence d'une température très élevée engendre successivement des carbures de plus en plus riches en carbone, de moins en moins volatil, et dont l'équivalent et le poids atomique vont sans cesse en augmentant. Ces condensations successives finissent par développer des carbures goudronneux et bitumineux et aboutissent au charbon, produit encore hydrogéné et dans lequel la proportion d'hydrogène est d'autant plus notable que le charbon s'est formé à une température moins haute.

„ En réalité, le charbon n'est pas comparable à un corps simple véritable ; mais il est, au contraire, assimilable à un carbure extrêmement condensé, extrêmement pauvre en hydrogène, à équivalent extrêmement élevé. Le carbon pur est en quelque sorte un état limite et qui peut à peine être réalisé sous l'influence de la température la plus élevée que nons sachions produire. Tel qu'il nous est connu à l'état de liberté, il représente le terme extrême des condensations moléculaires, c'est-à-dire un état aussi éloigné que possible de celui de l'élément carbone, amené à la condition de gaz parfait et comparable à l'hydrogène. Ceci explique pourquoi le carbone ne se sépare jamais en nature dans les réactions opérées à basse température, contrairement à ce qui arrive pour l'hydrogène et la plupart des éléments chimiques."

Les carbones, obtenus dans les réactions chimiques, ne renferment plus comme impuretés, de grandes quantités de matières minérales ainsi que nous l'avons observé dans le cas des carbones produits, à basse température, dans la plupart des réactions que nous avons signalées. Mais l'impureté constante sera l'hydrogène, en quantité qui variera surtout avec la température à laquelle on a effectué la pyrogénation. On

peut réduire, à des proportions excessivement faibles, la quantité d'hydrogène d'un carbone de pyrogénation ; aussi ces décompositions pyrogénées seront-elles choisies le plus souvent pour la préparation du carbone amorphe. Elles ont été appliquées à la préparation industrielle de quelques combustibles.

Ibidem.

HYDROCARBURES SATURÉS, PARAFFINES, CARBURES FORMÉNIQUES

États naturels.—Le premier des carbures saturés, le méthane se rencontre fréquemment dans la nature. Les pétroles d'Amérique sont formés de carbures saturés. Les pétroles russes, qui sont principalement constitués par des carbures cycliques, peuvent aussi renfermer une faible quantité de carbures saturés, Aschan a signalé la présence du diméthyle —2·3—butane dans les pétroles de Bakou.

Préparation et modes de formation.—Les hydrocarbures saturés se rencontrent en même temps que les carbures cycliques dans les produits de décomposition par la chaleur, d'un grand nombre de matières organiques, bois, houille, bitume, résines, etc.

La plupart des composés organiques peuvent être transformés, par hydrogénation, en carbures saturés renfermant le même nombre d'atomes de carbone.

A cet effet, on chauffe en tube scellé, à 280°, le corps organique avec un grand excès d'une solution saturée d'acide iodhydrique, en présence de phosphore rouge. L'alcool ordinaire et l'acide acétique fournissent ainsi de l'éthane,

$$\underset{\text{Alcool}}{CH^3 - CH^2OH} + 2HI = H^2O + \underset{\text{Éthane}}{CH^3 - CH^3} + I^2$$

$$\underset{\text{Acide acétique}}{CH^3 - CO^2H} + 6HI = 2H^2O + \underset{\text{Éthane}}{CH^3 - CH^3} + 3I^2$$

Le phosphore sert à régénérer l'acide iodhydrique,

$$P + 3I + 3H^2O = 3HI + PO^3H^3$$

Ce mode d'hydrogénation totale peut rendre de grands services en chimie organique. Il permet en effet de déterminer le noyau, c'est-à-dire le squelette carboné de substances à fonctions complexes. C'est ainsi que l'hydrogénation iodhydrique de la mannite qui fournit un mélange d'hexane

normal, d'iodo—2—hexane et d'iodo—3—hexane, permet d'établir que ce composé renferme une chaîne linéaire à 6 atomes de carbone.

$$CH^2OH-CHOH-CHOH-CHOH-CHOH-CH^2OH+12HI=$$
Mannite
$$6H^2O + CH^3 -CH^2 - CH^2 - CH^2 - CH^2 - CH^3 + 6I^2$$
Hexane normal
$$C^6H^{14}O^6 + 10HI = 5H^2O + C^6H^{13}I + 5I^2$$
Iodohexane

Les carbures saturés se préparent aussi au moyen des alcools ou des acides par les réactions suivantes :

1.—Préparation des carbures au moyen des acides.

Par la décomposition pyrogènée des sels alcalins en présence d'un alcali.—Les sels alcalins des acides monobasiques chauffés avec un excès d'alcali donnent naissance à des carbures saturés qui renferment un atome de carbone de moins que l'acide dont on est parti. C'est ainsi que l'acétate de potassium fournit le méthane.

$$CH^3 - CO^2K + KOH = CO^3K^2 + CH^4$$
Acétate de potassium — Méthane

L'opération se fait en chauffant vers le rouge sombre dans une cornue en verre peu fusible un mélange intime du sel de potassium désséché avec de la chaux sodée ou potassée. La chaux n'intervient pas dans la réaction ; elle empêche la masse de fondre, ce qui évite l'attaque du verre et facilite le dégagement du gaz.

Le carbure obtenu n'est pas très pur, car à température élevée la potasse agit comme oxydant et certains acides, les acides butyrique et valérique ne se prêtent pas très bien à cette réaction. On peut parfois le purifier par distillation fractionnée.

Certains acides bibasiques donnent facilement, par la décomposition de leurs sels en présence d'alcali, un carbure qui renferme deux atomes de carbone de moins que l'acide primitif. Ainsi, l'acide subérique en C^8 fournit de l'hexane

$$C^8H^{12}O^4K^2 + 2KOH = 2CO^3K^2 + C^6H^{14}$$
Subérate de potassium ou Octane-dioate de potassium — Hexane

Par électrolyse des sels d'acides monobasiques.—La formation des carbures saturés par électrolyse des sels d'acide mono-

basiques en solution aqueuse peut se comprendre de la façon suivante.

Examinons le cas de l'acétate de potassium qui fournit l'éthane.

En solution aqueuse l'acétate de potassium est partiellement dissocié en ses ions

$$\overset{-}{CH^3 - CO^2} \text{ et } \overset{+}{K}$$

qui sont séparés par le courant électrique. L'ion $\overset{+}{K}$ arrivant au pôle négatif perd sa charge électrique et le métal potassium réagit sur l'eau pour former de la potasse avec dégagement d'hydrogène. L'ion $\overset{-}{CH^3 - CO^2}$, en arrivant au pôle négatif, se décompose avec formation de gaz carbonique qui est partiellement neutralisé par la potasse, tandis que le radical monovalent CH^3 se double pour donner l'éthane. La réaction finale peut s'exprimer par l'équation,

$$2CH^3 - CO^2K + 2H^2O = 2CO^3KH + CH^3 - CH^3 + H^2$$

L'hydrogène se dégage au pôle négatif, tandis qu'au pôle positif on recueille de l'éthane.

Lorsqu'on électrolyse un mélange des sels de deux acides différents, on obtient un mélange de trois carbures, chacun des acides pouvant se décomposer pour son compte ainsi qu'il vient d'être dit, ou bien donner un carbure qui résulte de l'union des deux radicaux primitivement unis aux groupements fonctionnels acides. L'électrolyse d'un mélange d'acétate et de propionate de potassium fournit de l'éthane, du butane et du propane.

Les carbures préparés par cette méthode sont généralement mélangés des carbures éthyléniques renfermant un atome de carbone de moins que les acides utilisés. Il se forme aussi l'alcool correspondant à ce carbure. Ainsi l'électrolyse de l'acide butyrique normal fournit, à côté de l'hexane, du propène et du propanol—2. Le rendement en carbure saturé s'accroît pour les acides à poids moléculaires élevés (Hamonet).

P. CARRÉ : *Hydrocarbures, alcools et éthers de la série grasse.* Paris : Gaston Doin et Cie.

Triols

La préparation des savons à base de soude ou de potasse qui sont solubles dans l'eau, mais insolubles dans l'eau chargée de sel marin, fournit comme résidu une solution aqueuse salée qui renferme la glycérine. Pour en retirer la glycérine on neutralise ces liqueurs par l'acide sulfurique ou par l'acide chlorhydrique, on décante le dépôt boueux formé et on concentre au moyen d'évaporateurs spéciaux. Il se dépose pendant la concentration une assez grande quantité de sels minéraux qui sont enlevés. On évapore jusqu'à 35–36° Bé ; on obtient une glycérine très impure qui est purifiée par entraînement dans le vide au moyen de la vapeur d'eau surchauffée.

Aujourd'hui la saponification se fait généralement au moyen de l'acide sulfurique dilué. Les corps gras chauffés à 150° avec une solution d'acide sulfurique à 2 ou 3 % sont dédoublés en glycérine et acides gras. Ces derniers sont insolubles, on les sépare et on les utilise pour la fabrication des bougies ou des savons. La liqueur aqueuse est débarrassée de l'acide sulfurique par la baryte ou la chaux. On obtient ainsi une solution aqueuse de glycérine impure. On la décolore au noir animal, on la concentre à 28° Bé, à une température inférieure à 100°, pour éviter l'altération du liquide et on entraîne la glycérine dans le vide au moyen de la vapeur d'eau surchauffé. La glycérine est recueillie dans une série de cylindres refroidis par l'air extérieur ; ces cylindres sont suivis d'un condenseur dans lequel on injecte de l'eau froide, et enfin d'une pompe à vide qui aspire et refoule sans cesse l'eau injectée dans le condenseur, ainsi que celle provenant de la vapeur d'eau envoyée dans la masse à distiller. Cette première distillation fournit une glycérine qui renferme certains produits de décomposition formés par l'action de la chaleur, on procède à une seconde distillation et on recueille séparément la glycérine condensée dans le premier cylindre, car elle est moins pure que dans ceux qui suivent.

Nicloux a fait connaître un procédé très intéressant de saponification des corps gras, qui consiste à les soumettre à l'action de la *lipase*, diastase des semences de ricin qui possède la propriété d'hydrolyser les corps gras.

Ibidem.

Zinc

Propriétés générales.—Le zinc se distingue des métaux du groupe du fer auxquels il ressemble sous bien des rapports en ce qu'il ne peut former qu'une série de composés, dans lesquels il est divalent. Cette propriété en fait un moyen terme entre le nickel et le magnésium.

Le zinc a une couleur blanche avec reflet gris bleu et la surface de sa cassure fraîche présente un vif éclat. L'aspect de sa cassure dépend de la température à laquelle le métal a été coulé, qu'il se soit refroidi lentement ou rapidement. La texture est lamellaire lorsqu'avant le coulage, le métal liquide a été chauffé au rouge ; celle est au contraire grenue à grains fins, si le métal fondu et coulé n'a pas été chauffé à une température supérieure à son point de fusion.

Le zinc cristallise en prismes hexagonaux ; on l'obtient en cristaux par la méthode qui sert à préparer le soufre clinorhombique : on laisse refroidir lentement du zinc fondu et on décante la partie restée liquide, après solidification partielle du métal sur les parois du vase.

Il est assez mou et encrasse la lime ; il fond à 420° et bout à 950°. Il est cassant ; mais si on le chauffe au-dessus de 100°, il devient mou et se laisse marteler ou laminer ; quand il a été travaillé de la sorte, il garde sa ténacité à la température ordinaire. Si on le chauffe à 300° environ, il redevient extrêmement cassant et se laisse piler au mortier ; par refroidissement, il garde une structure assez cassante.

Ces transformations moléculaires, qui se produisent sous l'influence des variations de température, modifient la densité et la conductibilité du métal.

Le Châtelier a constaté que la résistance électrique du zinc augmente brusquement à 360°, indiquant ainsi une transformation moléculaire du métal à cette température.

Les vapeurs de zinc peuvent être condensées par refroidissement à l'état de zinc liquide. Plus elles sont diluées par d'autres gaz, plus leur condensation à l'état liquide est difficile. Si la température des vapeurs descend au-dessous du point de fusion du zinc, elles se solidifient sous forme pulvérulente et constituent le produit désigné sous le nom de poudre de zinc.

Sa ténacité est faible, un fil de 1 millimètre de diamètre se rompt sous une charge de 13 kilogrammes.

La densité du zinc fondu est égale à 6,862, celle du zinc laminé peut être portée à 7,215.

Propriétés chimiques.—Le zinc se combine facilement avec les métalloïdes, à l'exception de l'azote qui ne donne avec lui que des combinaisons peu stables et indirectes ; du silicium qui s'y dissout au rouge, mais sans se combiner et qui en se refroidissant se sépare sous forme de cristaux ; enfin du carbone et du bore qui ne paraissent pas agir sur ce métal.

D'après Moissan, le fluor se combine avec incandescence avec le zinc en poudre légèrement chauffé ; avec le chlore, le brome et l'iode, le phénomène est sensiblement le même ; toutefois le dégagement de chaleur est d'autant plus grand que le poids atomique de l'halogène est plus faible ; une mince feuille de zinc s'enflamme dans le chlore.

Le zinc ne s'oxyde pas à froid à l'air sec, mais à l'air humide, il se recouvre rapidement d'une couche très mince d'oxyde de zinc en partie carbonatée ; l'action est bien plus rapide en présence du cuivre ; cette oxydation n'est que superficielle, car la première couche formée préserve le reste du métal ; grâce à cette circonstance, l'altération du zinc dans l'atmosphère est presque négligeable, lors même qu'il présente une large surface exposée à la pluie, qui ne dissout qu'à peine, et n'entraîne mécaniquement que fort peu cet enduit protecteur ; de là, l'emploi si fréquent des feuilles de zinc pour la confection des toitures.

Chauffé au contact de l'air jusqu'à son point d'ébullition, le zinc brûle avec une flamme brillante blanc verdâtre et blanc bleuâtre, répandant d'épaisses fumées blanches d'oxyde de zinc qui se condensent dans l'atmosphère en flocons neigeux (lana philosophica, nihilum album).

En présence d'oxygène, la réaction est encore plus vive ; c'est ainsi que la tournure de zinc brûle avec un très vif éclat dans un courant d'oxygène.

Soufre.—Le soufre se combine au rouge avec le zinc en formant du sulfure de zinc. La combinaison est cependant incomplète parce que le zinc, même s'il est finement pulvérisé et mélangé intimement avec le soufre en fleurs, est enveloppé par le sulfure de zinc formé à la surface du mélange. Le même phénomène se produit avec le sélénium et le tellure.

A. BOUCHONNET, *Zinc, Cadmium, Cuivre, Mercure.* Paris : Gaston Doin et Cie.

Bismuth

Atomicité.—Le bismuth est en général trilent ; d'après ses combinaisons organométalliques, il fonctionne comme triatomique et penta-atomique, comme l'antimoine : par exemple, dans le bismuth triphényte et dans son chlorure $(C^6H^5)^3BiCl^2$.

Propriétés chimiques.—Le bismuth est inaltérable à l'air à la température ordinaire. Lorsqu'on le chauffe, il se recouvre peu de temps avant la fusion d'une couche noire d'oxydule de bismuth. Si l'on pousse le chauffage jusqu'au rouge, il se forme une pellicule d'oxyde de bismuth qui offre une couleur jaune ou verte lorsque le métal est pur, et violette ou bleue lorsque celui-ci est impur. Au rouge clair, le bismuth brûle avec une flamme bleuâtre en se transformant en oxyde, qui apparaît sous la forme d'une fumée jaune.

L'oxygène dissous attaque également le bismuth, qui s'oxyde dans l'eau aérée et que l'acide carbonique de l'air change en paillettes cristallines de carbonate. L'ozone, suivant Schönbein, fournit de l'acide bismuthique.

A la température ordinaire, l'eau sans air n'agit pas sur le bismuth ; la vapeur d'eau est décomposée lentement, mais seulement au rouge blanc.

Le bismuth se combine directement avec le fluor, le chlore, le brome et l'iode : le fluor ne l'attaque que superficiellement ; le chlore, lorsqu'il est bien sec, ne ternit le métal qu'après un contact prolongé (7, a). Avec le chlore imparfaitement desséché, la combinaison a lieu le plus souvent avec dégagement de lumière. Il se combine au brôme plus difficilement que ne le fait l'antimoine. Fondu avec l'iode, il se transforme en iodure.

Avec le soufre, le sélénium et le tellure, la combinaison se produit aisément par fusion des deux constituants.

Lorsqu'on chauffe au rouge vif le bismuth dans un courant d'azote, il émet des vapeurs verdâtres qui se condensent en une poussière grise composée de globules microscopiques. Ce bismuth amorphe renferme 0,4 p. 100 d'azote ; il fond à 410° (Hérard) (8, a).

Le bismuth ne dissout pas le carbone. Vigoureux, en opérant entre des limites de température très étendues, n'a pu réaliser directement la combinaison avec le silicium.

Oxydants.—Les oxydants exercent sur le bismuth une

action très vive ; un mélange de chlorate et d'azotate de potassium chauffé avec du bismuth en poudre peut détoner avec force ; car non seulement la combustion par le chlorate de potassium est plus exothermique que par l'oxygène libre, mais de plus le nitre apporte un alcali avec lequel l'oxyde de bismuth formé se combine avec dégagement de chaleur.

Le sodammonium donne du bismuthure de sodium $BiNa^3$. La combinaison prend naissance directement en chauffant ensemble le mélange des constituants.

Les chlorures métalliques au maximum attaquent aussi, dans des conditions convenables, le bismuth métallique.

Poli avait observé la formation d'un beurre de bismuth en chauffant une partie de bismuth avec deux parties de bichlorure de mercure.

Des dissolution de ses sels, le bismuth est précipité à l'état métallique par les métaux alcalins et alcino-terreux, le zinc, le manganèse, le fer, le nickel, le cadmium, l'étain, le cuivre et le plomb.

A. BOUCHONNET, *Bismuth, Étain, Plomb.* Paris : Gaston Doin et Cie.

OXYDES DE PLOMB

Protoxyde de plomb. PbO

L'oxyde de plomb se rencontre dans la nature en masses opaques jaunes, à structure écailleuse. Densité : 8.

Préparation.—C'est le produit de la calcination de plomb à l'air.

Il se forme aussi par calcination du carbonate ou de l'azotate de plomb, ainsi que par ébullition de l'hydrate avec une quantité de potasse insuffisante pour le dissoudre.

On le prépare sous forme jaune en favorisant la combustion du plomb par un courant d'air surchauffé (Bradley Nervel) ; ou bien encore en empruntant l'oxygène aux oxydes azoteux et azotique (Sabatier et Senderens).

On peut encore décomposer le plombate de calcium par le plomb (Kassner).

Massicot.—Dans l'industrie, le *massicot* se prépare par la calcination du plomb dans un four à réverbère à deux foyers latéraux. Dès que le métal entre en fusion, on en remue sans cesse la surface à l'aide d'un ringard jusqu'à la formation de l'oxyde. Le massicot, retiré du four, subit deux broyages

successifs au moyen de meules horizontales, suivis de lavages dans des bacs sous un courant d'eau pour en séparer le plomb métallique qui l'accompagne. La masse est ensuite séchée dans un four chauffé en dessous et en même temps on la pulvérise à l'aide d'un ringard. C'est ainsi qu'on procède en Belgique.

Le massicot se met en baril de fer de 250 à 300 kgrs. Sa valeur est de 7 francs supérieure à celle du plomb.

Ibidem.

Liquéfaction et dissolution des gaz

Liquéfaction des gaz.—Tous les gaz peuvent être liquéfiés par compression et refroidissement, sous la seule condition, nécessaire et suffisante, que la température soit inférieure à celle de leur point critique.

Jusqu'en 1877, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le bioxyde d'azote, l'oxyde de carbone et le méthane (anciens gaz *permanents* de Faraday) n'ont pu être liquéfiés parce qu'on ne savait encore pas produire de températures assez basses ; MM. Cailletet, Pictet, Wroblewski et Olszewski sont parvenus à les condenser en s'aidant du froid produit par la détente brusque du gaz, préalablement comprimé à 300 atmosphères (environ—200°).

Dissolution des gaz.—Tous les gaz diminuent de volume quand on les agite avec certains liquides, tels que l'eau ou l'alcool ; ils sont donc absorbés par ceux-ci et subissent à leur contact une véritable liquéfaction ; c'est ce phénomène qui a reçu le nom de *dissolution des gaz.*

On appelle *coefficient de solubilité* d'un gaz le volume maximum de ce gaz, mesuré à 0 degré et 760 millimètres, qui peut entrer en dissolution dans l'unité de volume du dissolvant.

Le coefficient de solubilité diminue rapidement quand la température s'élève, il est nul au point d'ébullition du dissolvant, toutes les fois que ce dernier est sans action chimique sur le gaz.

L. Maquenne, *Cours de Chimie.* Paris : Gaston Doin et Cie.

Hydrolyses en systèmes gazeux

Saponification des éthers-sels.—*L'oxyde titanique* TiO^2, qui, employé à 280°–300°, provoque aisément l'éthérification

des alcools par les acides forméniques, peut également, par inversion de la catalyse, procurer la saponification des éthers-sels par la vapeur d'eau. Le passage très rapide du mélange de ces vapeurs sur la traînée d'oxyde à 280°–300° suffit pour atteindre à peu près complètement une limite voisine de 30 p. 100, dans le cas de molécules égales d'éther et d'eau : cette limite sera de plus en plus reculée à mesure qu'on accroît la proportion de la vapeur d'eau, et un grand excès de cette dernière amènerait une saponification complète de l'éther-sel.

La *thorine* peut réaliser le même effet, mais avec une activité un peu moindre.

Éthers-oxydes.—*L'oxyde de thorium* ThO^2, qui catalyse efficacement par déshydratation la formation de l'*oxyde de phényle* $(C^6H^5)^2O$ à partir du phénol entre 400° et 500°, peut également procurer à la même température l'hydratation de l'*oxyde de phényle*, quand les vapeurs de ce dernier, entraînées par la vapeur d'eau, passent sur la traînée d'oxyde : la régénération du phénol a atteint 50 p. 100.

Hydrolyse du sulfure de carbone.—On peut rattacher aux phénomènes d'hydrolyse l'action que la vapeur d'eau exercerait sur le *sulfure de carbone*, en présence de catalyseurs appropriés, tels que l'*oxyde ferrique*. La réaction, d'ailleurs incomplète, serait :

$$CS^2 + 2H^2O = CO^2 + 2H^2S$$

Ce procédé appliqué au *gaz d'éclairage* permettrait d'y supprimer 67 p. 100 du sulfure de carbone qu'il contient. La suppression pourrait devenir complète, à condition d'enlever l'hydrogène sulfuré au fur et à mesure de sa production.

PAUL SABATIER, *La catalyse en chimie organique*. Paris : Librairie Polytechnique, Ch. Béranger.

ALCOOLYSES

L'action des alcools sur les éthers-sels peut être comparée à la saponification de ces derniers par l'eau, et comme celle-ci elle est catalysé par de petites quantités d'acides minéraux forts, *acide chlorhydrique* ou *acide sulfurique*.

Soit un alcool primaire forménique R^1OH, mis en présence de l'éther-sel résultant d'un acide RCO^2H, et d'un alcool à molécule complexe MOH, on aura :

$$R.CO.OM + R'.OH = M'OH + R.CO.OR'$$

L'alcool MOH est régénéré. C'est ce qui a lieu quand on oppose les *alcools méthylique, éthylique, propylique,* etc., aux éthers-sels fournis par le *bornéol,* par la *glycérine,* etc., en présence d'une dose minime d'acide chlorhydrique.

Ainsi l'*acétate de bornéol,* mis en présence d'une dissolution à 1 p. 100 de gaz chlorhydrique dans l'*alcool méthylique,* fournit rapidement du *bornéol* et de l'*acétate de méthyle.*

Les *glycérides,* mélangés à de l'*alcool absolu* contenant quelques centièmes de *gaz chlorhydrique,* fournissent la glycérine, et les éthers éthyliques des acides gras.

Haller a désigné sous le nom d'*alcoolyses* ces saponifications, qui ont lieu très aisément avec tous les corps gras. On les réalise en mélangeant 100 grammes de ces derniers avec 200 grammes d'*alcool méthylique* sec contenant 1 à 2 grammes de gaz chlorhydrique dissous, et chauffant quelques heures au bain-marie dans un ballon muni d'un réfrigérant ascendant jusqu'à ce que le mélange soit homogène. S'il est nécessaire, on ajoute, pour atteindre ce résultat, une nouvelle dose d'alcool chlorhydrique. Après la réaction, on verse dans l'eau salée qui dissout la glycérine et fait surnager les éthers-sels méthyliques des acides gras.

La réaction, rapide avec le *beurre de coco,* ainsi qu'avec l'*huile de ricin* où quelques heures de chauffe suffisent, est plus lente avec les huiles siccatives, comme l'*huile de lin.* Elle réussit aussi bien avec les alcools *éthylique, propylique, isobutyrique.*

Ibidem.

AMINES

Les diverses amines, hydrogénées sur le nickel au-dessus de 300°–350°, tendent à fournir de l'*ammoniac* et un hydrocarbure. Cette réaction aisée avec les amines aliphatiques, a déjà été signalée pour l'*aniline* ; elle a lieu aussi avec les amines homologues de cette dernière, avec la *benzylamine,* ainsi qu'avec les *naphtylamines.*

L'*hexaméthylène-tétramine* donne une scission complète de la molécule, et fournit de l'ammoniac, de la *triméthylamine* et du *méthane* :

$$N(CH^2 . N : CH^2)^3 + 9H^2 = N(CH^3)^3 + 3NH^3 + 3CH^4$$

Ibidem.

LA CATALYSE

Le mot de catalyse a été inventé par Berzélius, à une époque où les chimistes savaient le grec, pour désigner un ensemble de phénomènes inexplicables au moment où il écrivait, et encore mal expliqués, d'ailleurs, à l'heure actuelle. L'un de ces phénomènes est la décomposition de l'eau oxygénée par la mousse de platine ou le bioxyde de manganèse.

L'eau oxygénée ou peroxyde d'hydrogène H^2O^2 est, par elle-même, un corps parfaitement stable ; pure et enfermée dans un flacon de verre paraffiné, elle se conserve indéfiniment. Au contraire, elle se décompose au contact de la mousse de platine (qui est simplement du platine divisé) ou du bioxyde de manganèse, ou d'autres corps encore, avec une très grande rapidité, et même avec une sorte d'explosion si elle est suffisamment concentrée. Il se dégage de l'oxygène et il reste de l'eau

$$H^2O^2 = H^2O + O$$

La platine, ou l'oxyde de manganèse, restent entièrement inaltérés ; ils ont agi par leur seule présence. On ne peut donc voir là une réaction chimique ordinaire, et d'ailleurs, quand on examine la liste des corps qui peuvent exercer sur l'eau oxygénée cette action décomposante (platine, bioxyde de manganèse, sesquioxyde de fer, charbon, etc. . . .) on ne voit pas quelle propriété chimique pourrait être commune à tous.

On connaît un grand nombre de réactions très semblables à cette décomposition. Ainsi, l'oxyde de manganèse, sans subir lui-même aucune altération, décompose à une température peu élevée le chlorate de potasse en chlorure de potassium et oxygène

$$ClO^3K = KCl + O^3$$

C'est un procédé classique de préparation de l'oxygène, que beaucoup de lecteurs pourront retrouver au fond de leurs souvenirs.

La glycérine décompose de même l'acide oxalique en acide formique et acide carbonique

$$C^2O^4H^2 = CO^2H^2 + CO^2$$

L'acide sulfurique ou l'iodure d'éthyle décomposent l'alcool ordinaire en éther ou en eau ; la silice précipitée exerce une

action plus énergique, vers 280°, et donne de l'eau et de l'éthylène, toujours par sa seule présence.

$$C^2H^6O = C^2H^4 + H^2O$$

D'autres actions portent sur des corps de constitution plus compliquée ; ainsi le chlorure d'aluminium, ajouté à un mélange de chloroforme et de benzine chauffé vers 60°, donne de l'acide chlorhydrique et du triphénylméthane

$$CHCl^3 + {}_3C^6H^6 = CH(C^6H^5)^3 + {}_3HCl$$

Bref, il existe un très grand nombre de réactions de cette espèce, auxquelles, depuis Berzélius, on donne le nom de *réactions catalytiques* ou de *catalyses.* Il ne faut pas oublier que ce nom correspond à une classification, et nullement à une explication, ni par conséquent dire, comme on l'a fait, que la décomposition de l'eau oxygénée est due à la *force catalytique* de la mousse de platine, parce que cette expression ne signifie absolument rien.

Si nous étudions de plus près ces actions catalytiques, nous ne tarderons pas à constater deux caractères très importants pour nous. D'abord, nous verrons que le rôle des catalyseurs consiste très souvent à rendre possible, à la température ordinaire (ou du moins à une plus basse température) des réactions qui ne se produiraient spontanément qu'à température élevée. L'eau oxygénée, par exemple, suffisamment chauffée, se décomposerait en eau et oxygène ; la mousse de platine abaisse de quelques centaines de dégrés la température à laquelle se fait la réaction. L'oxyde de manganèse abaisse, de même, la température de décomposition du chlorate de potasse : cette décomposition se produirait sans lui, si l'on chauffait plus fort. L'acide oxalique, soumis à la distillation sèche, donne de l'acide carbonique et de l'acide formique, comme il le fait à moins haute température en présence de glycérine. Un mélange d'oxygène et d'hydrogène peut être chauffé à 500° au moins, sans qu'il y ait combinaison ; celle-ci se produit à 60° en présence de mousse de platine ou d'amiante platinée. L'oxyde de carbone, à 350°, en présence de nickel, donne de l'acide carbonique et du carbone :

$$2CO = C + CO^2$$

Dans ce cas le catalyseur se montre particulièrement actif,

et diminue de près de 1,000° la température nécessaire à la réaction.

JACQUES DUCLAUX, *La chimie de la matière vivante.* Paris : Félix Alcan.

CELLULOSES

1. **Celluloses diverses.**—Les tissus végétaux sont constitués, en grande partie, par des principes insolubles, présentant des compositions et des propriétés analogues, sans être cependant tout à fait identiques. Payen a assimilé la plupart d'entre eux, en les considérant comme un principe *unique*, que l'on a désigné sous le nom de *cellulose*. Actuellement l'expression *cellulose* s'applique à différents polysaccharides, dont le caractère commun est d'être inattaquables par les acides ou les alcalis, dilués et chauds. Les principes végétaux répondant à cette définition peuvent cependant être hydrolysés dans certaines conditions ; or la plupart produisent ainsi de la glucose-*d* ; certains fournissent, en même temps, de la mannose-*d* ou de la galactose-*d*, ou encore des pentoses-*d*.

Une cellulose qui, par hydrolyse, fournit simultanément de la glucose-*d* et de la mannose-*d*, étant dissoute dans l'oxyde de cuivre ammoniacal, puis précipitée partiellement par le gaz carbonique, se scinde en une matière insoluble, *la cellulose proprement dite* ou *glucocellulose*, génératrice de glucose par hydrolyse, et une autre matière restant dissoute, que l'hydrolyse change en mannose-*d* ; la seconde substance s'obtient en évaporant la liqueur et épuisant le résidu par l'acide chlorhydrique étendu (M. Gilson).

Ces faits ont conduit à admettre que les *celluloses composées*, susceptibles d'engendrer simultanément des sucres variés, sont des combinaisons de cellulose proprement dite avec des corps différents de cette cellulose ; on a distingué les *lignocelluloses*, les *pectocelluloses*, les *mucocelluloses*, les *adipocelluloses* et les *cutocelluloses*. La glucocellulose ou cellulose ordinaire a seule été étudiée jusqu'ici avec quelques détails. C'est d'elle que nous parlerons maintenant.

2. **Cellulose ordinaire.**—Elle constitue un grand nombre de tissus végétaux de familles très diverses. On la trouve jusque dans les champignons (*Polyporus*, *Agaricus*) ; les bactéries elles-même en contiennent.

3. **Préparation.**—Les jeunes cellules végétales, la moelle de sureau, le coton, le vieux linge, après un long usage et de nombreux blanchissages, enfin le papier de chiffon non collé, sont constitués par la cellulose ordinaire. Pour isoler celle-ci, on laisse tremper l'une de ces substances dans l'eau, puis on la fait bouillir avec une solution faible de potasse caustique ; on la lave de nouveau ; on la délaye dans l'eau et on dirige un courant de chlore dans la masse ; on lave encore une fois, on sèche, on épuise par l'acide acétique concentré et bouillant, par l'alcool, par l'éther, enfin par l'eau, puis on sèche à 100°.

La papeterie isole grossièrement la cellulose de la paille, des fibres d'alfa, du bois déchiqueté, etc., en chauffant ces substances dans un autoclave, avec une lessive alcaline. La vapeur d'eau, sèche, agissant pendant trois ou quatre heures, à 4 ou 5 atmosphères, détermine aussi l'hydrolyse ; elle effectue ainsi la dissolution des hémicelluloses, qui accompagnent la cellulose, et réalise la désagrégation des tissus végétaux. Le chauffage en autoclave, avec une solution de bisulfite de calcium, est employé avantageusement, dans le même but, par l'industrie.

4. **Propriétés.**—La cellulose est solide, blanche, translucide, insoluble dans l'eau, l'alcool, l'éther, les acides et les alcalis étendus. Séchée, elle donne à l'analyse des résultats conformes à la formule $(C^6H^{10}O^5)^n$. Sa densité est 1,45.

Insoluble dans la plupart des véhicules, elle se dissout cependant dans le *réactif de Schweizer* ; en réalité, la propriété de dissoudre la cellulose a été attribuée exclusivement, par Schweizer, à l'hyposulfate et au sulfate de cuivre ammoniacal ; Peligot a montré que le véritable agent de la dissolution est l'oxyde de cuivre ammoniacal ; la présence des sels étrangers diminue l'activité spéciale du réactif (M. Baubigny). La solution d'oxyde de cuivre ammoniacal (*réactif de Peligot*), lorsqu'elle se charge de cellulose, devient visqueuse ; elle est précipitée par l'eau, et mieux par les acides étendus ou par certains sels. La cellulose se sépare gélatineuse et peut être purifiée par lavage ; après dessiccation, elle est amorphe. La mise en solution de la cellulose permet de la séparer des divers principes qui l'accompagnent dans les végétaux et qui restent insolubles dans le réactif. Le chlorure cuivreux ammoniacal dissout aussi la cellulose.

Les hydrocelluloses sont insolubles dans l'eau, solubles

dans l'oxide de cuivre ammoniacal ainsi que dans les lessives alcalines.

En laissant écouler un jet très fin de solution cupro-ammoniacale de cellulose dans un acide étendu, la matière cellulosique se sépare en un fil d'hydrocellulose, utilisé sous le nom de *soie artificielle* ou sous celui de *glanzstoff*.

Une solution aqueuse de chlorure de zinc, à 40 ou 50 pour 100, dissout la cellulose à la température du bain-marie ; la liqueur sirupeuse obtenue précipite, par addition d'eau ou d'alcool, de la cellulose entraînant de l'oxyde de zinc ; ce dernier peut être éliminé par des lavages à l'acide chlorhydrique dilué. Le chlorure de zinc, en solution dans l'acide chlorhydrique, dissout aussi la cellulose, mais une hydrolyse, due à l'action de l'acide, accompagne la dissolution.

La cellulose régénérée des solutions précédentes, comme celle que fournissent, dans leur décomposition, certains composés cellulosiques cités plus loin, est plus ou moins hydratée ; elle est constituée par des *hydrates de cellulose* ou *hydrocelluloses* (A. Girard), $(C^6H^{10}O^5, H^2O)^n$, $[(C^6H^{10}O^5)^2H^2O]^n$, etc.

BERTHELOT et JUNGFLEISCH, *Traité élémentaire de chimie organique*. Paris : Dunod.

ARGILE

Chimiquement, l'argile est constituée par un mélange complexe dans lequel domine le silicate d'alumine hydraté, qui tire son origine de la décomposition des feldspaths des roches cristallines. C'est cette argile que nous avons vue se déposer après le sable silicieux et le calcaire ou même rester indéfiniment en suspension dans l'eau. Quand elle est pure (Kaolin), l'argile est blanche et douce au toucher ; mais dans les sols elle est constammant plus ou moins colorée en gris, vert ou rouge, par différentes matières étrangères et en particulier par l'oxyde ferrique ; elle contient toujours de plus des éléments sableux ; on s'en rend compte facilement en malaxant quelques grammes d'argile dans un mortier, au contact d'eau pure ; le frottement du pilon au fond du mortier fait entendre un grincement dû à l'écrasement de grains de sable.

L'argile tire la plupart des propriétés intéressant la physiologie végétale du fait qu'elle est un colloïde ; si on délaye avec soin de l'argile dans de l'eau *distillée*, on constate qu'il s'effectue un dépôt assez rapide de particules solides ; d'autres

particules mettront plusieurs heures ou même plusieurs jours pour descendre jusqu'au fond du vase ; mais après ce temps la partie supérieure du liquide restera toujours trouble ; on est en présence d'une pseudo-solution d'argile. Comme toute substance colloïdale l'argile peut être précipitée par l'addition d'électrolytes ; en effet, si à la solution précédente on ajoute un peu de chlorure de calcium, on voit se produire des flocons grisâtres qui descendent lentement et se déposent au fond du vase ; tous les sels sont capables de réaliser cette précipitation, mais les sels des métaux bivalents sont à cet égard plus efficaces que ceux des métaux monovalents ; les acides agissent également à cet égard d'une manière très énergique.

Cette propriété de l'argile explique plusieurs faits importants ; c'est ainsi que, si on lave de la terre disposée sur un filtre avec de l'eau distillée, on constate que celle-ci donne d'abord, au sortir du filtre, un liquide limpide, mais qu'au bout d'un temps plus ou moins long le liquide sort de plus en plus lentement et apparaît de plus en plus trouble ; cela tient à ce que l'eau distillée a tout d'abord dissous le calcaire contenu dans la terre et que celui-ci a agi vis-à-vis de l'argile à la façon d'un électrolyte, laissant subsister l'argile à l'état de précipité ; ce n'est que lorsque tout le calcaire a été entraîné par l'eau de lavage que l'argile peut entrer à l'état de suspension ; à partir de ce moment, elle bouche peu à peu les pores du filtre et l'écoulement de l'eau devient de plus en plus difficile et arrive jusqu'à cesser complètement.

On obtient de suite ce résultat final en traitant au préalable la terre par de l'acide chlorhydrique qui dissout le carbonate de calcium et procédant ensuite à un lavage à l'eau distillée. Si on se sert au contraire d'eau ordinaire, qui contient toujours en dissolution des sels et en particulier du carbonate de calcium, la filtration reste toujours aisée et le liquide s'écoule continuellement limpide.

Si l'eau de pluie, qui est sensiblement pure, tombant sur une terre argileuse, ne détermine pas le plus souvent la mise en suspension de l'argile, cela tient à ce que, se chargeant de gaz carbonique, elle dissout assez rapidement du calcaire et laisse ainsi l'argile à l'état de précipité ; ce n'est que lorsque la chute de pluie est très rapide qu'il ne se dissout pas assez de calcaire pour empêcher l'argile d'entrer en suspension, et ainsi s'explique dans ces conditions le trouble temporaire présenté par les sources.

C'est par la même propriété que s'explique la présence d'argile en suspension dans les eaux qui sortent des glaciers et qui sont peu riches en calcaire (moins de 60 mg. par litre) ainsi que la précipitation de cette même argile quand les eaux en question viennent se mélanger avec celles d'une rivière ou d'un lac riches en calcaire ; le même fait se produit à l'embouchure des fleuves dans la mer dont l'eau est très chargée de différents sels (formation de deltas).

L'argile colloïdale joue dans les terres le rôle de ciment vis-à-vis des éléments sableux ; il existe un autre constituant de la terre arable qui possède la même propriété, c'est l'humus.

MARIN MOLLIARD, *La nutrition de la plante.* Paris : Gaston Doin et Cie.

NOUVEAUX FAITS POUR SERVIR A L'HISTOIRE DE LA LEVÛRE LACTIQUE[1]. [Lettre à M. Dumas.]

Dans un mémoire que j'ai eu l'honneur de communiquer il y a quelques mois à l'Académie, je suis arrivé à cette conclusion que, de même qu'il existe un ferment alcoolique, la levûre de bière, que l'on trouve partout où il y a du sucre qui se dédouble en alcool et en acide carbonique, de même il y a un ferment particulier, une levûre lactique, toujours présente quand du sucre devient acide lactique, et que si toute matière plastique azotée peut transformer le sucre en cet acide, c'est qu'elle est pour le développement de ce ferment un aliment convenable.

Cette nouvelle levûre, constituée par des globules ou mieux par des articles très courts, un peu renflés aux extrémités, de $\frac{1}{600}$ de millimètre de diamètre environ, a tous les caractères généraux de la levûre de bière, mais dans aucun cas elle ne dédouble le sucre en alcool et en acide carbonique. Le principal produit de son action est l'acide lactique, et je vous ai annoncé depuis longtemps que dans la fermentation par la levûre de bière il ne se formait pas la plus petite quantité de cet acide.

Cette levûre lactique est-elle organisée à la façon de la levûre de bière ? Ne serait-elle pas un précipité de matière azotée ayant la propriété d'agir sur le sucre par sa nature chimique, par son contact, comme l'aurait dit Berzélius, ou par un

[1] *Comptes rendus à l'Académie des sciences,* séance du 14 février, 1859, XLVIII, pp. 337–8.

phénomène de mouvement communiqué, comme s'exprimerait M. Liebig ? Assurément rien ne démontre mieux l'organisation de la levûre de bière que les expériences sur la multiplication des globules de levûre dans une eau sucrée mêlée à une petite quantité d'ammoniaque et de phosphates alcalins et terreux, expériences que vous avez bien voulu faire connaître récemment à l'Académie.

Il résulte de là que si les mêmes essais pouvaient réussir avec la levûre lactique, il serait également bien difficile de mettre en doute le fait de son organisation déjà si vraisemblable, et par l'aspect microscopique de cette levûre, et par ses frappantes analogies avec la levûre de bière.

Tels sont précisément les résultats que j'ai l'honneur de communiquer à l'Académie, ainsi que les particularités remarquables qui les accompagnent.

Je mêle à de l'eau sucrée pure une petite quantité d'un sel d'ammoniaque, des phosphates et du carbonate de chaux précipité. Après vingt-quatre heures, la liqueur commence à se troubler et un dégagement de gaz a lieu ; la fermentation continue les jours suivants, l'ammoniaque disparaît, les phosphates et le sel calcaire se dissolvent, du lactate de chaux prend naissance, et corrélativement on voit se déposer de la levûre lactique, le plus ordinairement associée à des infusoires. Souvent aussi la liqueur se charge de butyrate de chaux. En un mot, on a tous les caractères de la fermentation lactique, bien définie autrefois par M. Fremy, dans les conditions générales de son existence ; et ce n'est pas sans surprise que l'on voit un abondant dépôt de matière végétale et animale dans une liqueur qui ne renfermait primitivement d'autre produit azoté qu'un sel d'ammoniaque.

Si l'on supprime le carbonate de chaux, les choses se passent de la même manière, sans qu'il se forme la moindre quantité de levûre de bière, mais seulement de la levûre lactique et quelques infusoires, que l'acidité croissante du milieu fait périr promptement. D'ailleurs la fermentation est très pénible dans ces conditions et ne tarde pas à s'achever, probablement aussi par suite de l'acidité que prend la liqueur.

Quant à l'origine de la levûre lactique, dans ces expériences, elle est due uniquement à l'air atmosphérique ; nous retombons ici dans les faits de générations spontanées. Si l'on supprime tout contact avec l'air commun, ou si l'on porte à l'ébullition le mélange de sucre, de sel d'ammoniaque, de

phosphates et de craie pour n'y laisser rentrer que de l'air chauffé au rouge, il ne se forme ni levûre lactique, ni infusoires, ni fermentation quelconque.

Vous remarquerez, Monsieur, que dans les expériences précédantes la vie végétale et animale a pris naissance dans du sucre candi pur, substance cristallisable, mêlée à un sel d'ammoniaque et à de la matière minérale, c'est-à-dire dans un milieu où il n'y avait aucun produit ayant eu antérieurement une organisation quelconque.

Sur ce point la question de la génération spontanée a fait un progrès.

LOUIS PASTEUR, *Œuvres*, tome ii. Paris : Masson et Cie.

ETUDES SUR LE VINAIGRE ET LE VIN

Revenons à l'explication du fait de la transformation du vin en vinaigre. En bornant nos connaissances à ce qui précède, il semblerait que de l'alcool étendu d'eau, exposé à l'air, devrait fournir de l'acide acétique : il n'en est rien cependant. Voici de l'eau pure alcoolisée au degré des vins ordinaires et qui est exposée au contact de l'air dans un vase non fermé ; elle y séjournerait des années entières sans qu'il y eût jamais la moindre acétification.

Quelle peut être la cause de la différence considérable que nous présentent sous ce rapport le vin naturel et l'eau pure alcoolisée ? Pourquoi, dans les deux cas, l'oxygène de l'air ne se fixe-t-il pas également bien sur l'alcool ? C'est qu'il existe dans le vin, a-t-on dit, quelque chose qui provoque l'union de l'oxygène de l'air avec l'alcool. L'eau alcoolisée est privée au contraire de cet intermédiaire.

Mais quelle est donc la substance qui peut avoir une influence pareille ?

Nous touchons ici à l'un des points les plus curieux de notre sujet, car il s'agit du principe même des fermentations, de ces phénomènes chimiques extraordinaires et mystérieux les plus dignes des méditations du savant aussi bien que de l'homme du monde.

On a donné le nom générique de *fermentation* à tous ces mouvements intestins qui s'accomplissent d'eux-mêmes après la mort dans tous les êtres organisés et en général dans toute matière qui a fait partie d'un être vivant.

Rappelons quelques-uns de ces phénomènes remarquables :

le jus du raisin bouillone dans la cuve de vendange par le dégagement du gaz acide carbonique, la pâte de farine se soulève et s'aigrit, le lait se caille, le sang se putréfie, la paille rassemblée devient du fumier, les feuilles et les plantes mortes enfouies dans la terre se transforment en terreau. . . . Le caractère commun de toutes ces actions chimiques est la spontanéité. Elles sont l'œuvre du temps et des forces naturelles ; la main de l'homme n'y intervient en quoi que ce soit. La raison en est simple : c'est une loi de l'univers que tout ce qui a vécu disparaisse. Il faut de toute nécessité que les matériaux des êtres vivants fassent retour, après leur mort, au sol et à l'atmosphère, sous formes de substances minérales ou gazeuses telles que la vapeur d'eau, le gaz carbonique, le gaz ammoniac, le gaz azote, principes simples et voyageurs que les mouvements de l'atmosphère peuvent transporter d'un pôle à l'autre et chez lesquels la vie peut aller à nouveau puisér les éléments de sa perpétuité indéfinie. C'est principalement par des actes de fermentation et de combustion lente que s'accomplit cette loi naturelle de la dissolution et du retour à l'état gazeux de tout ce qui a vécu.

L'acte chimique qui est le sujet de notre entretien n'est rien autre chose qu'un de ces phénomènes de fermentation et de combustion lente ; c'est une des étapes naturelles de la destruction et de la *gazéification*, dans certaines conditions déterminées, de la matière sucrée si abondamment répandue dans les plantes. En effet, le sucre du raisin fermente, et ses principes, sous leur forme nouvelle, composent le vin. Le vin à son tour, livré à lui-même, devient vinaigre ; et, vous en sérez témoins tout à l'heure, le vinaigre exposé au contact de l'air se transforme en eau et en gaz acide carbonique. A ce terme, l'œuvre de la mort et de la destruction qui la suit est achevée pour la matière sucrée ; et ses principes élémentaires, le charbon, l'hydrogène et l'oxygène, ont repris la forme sous laquelle ils sont prêts à rentrer dans un nouveau cercle de vie.

Ibidem, tome iii.

La classification périodique des éléments

Les expressions *isotopie* et *isotopes* ont été introduites dans la science par F. Soddy. Ce savant désigna en 1914 comme isotopes les éléments qui, différant par leurs poids atomiques, occupent cependant une seule et même place dans le tableau

de classification périodique des éléments. La formation étymologique du mot „ isotope " correspond précisément à cette signification.

La notion de l'isotopie se trouve ainsi intimement liée à celle de la classification des éléments chimiques symbolisée par le tableau bien connu de Mendeleeff. Les travaux de ce savant ainsi que ceux de L. Meyer, ont mis en évidence vers 1870 une régularité fondamentale dans les propriétés des éléments chimiques ; *ces propriétés sont des fonctions périodiques du poids atomique.* En portant en abscisses celui-ci, et en ordonnées le volume atomique (quotient du poids atomique par la densité à l'état solide), ou la compressibilité à l'état solide, on obtient une courbe ondulée offrant une série de maxima caractérisés qui correspondent aux métaux alcalins.

En utilisant la chaleur de formation des oxydes et des chlorures, on obtient un résultat très analogue. En utilisant la température de fusion absolue, on obtient une courbe dont les minima correspondent aux métaux alcalins. Le même caractère de périodicité apparaît plus ou moins nettement dans diverses autres propriétés, en particulier, dans la valence. Conformément à ce caractère, les éléments peuvent être disposés en un tableau qui met en évidence le retour périodique d'une certaine valence.

. . . .

La découverte de la radioactivité, suivant de près celles des rayons Röntgen ou rayons X, a permis de trouver un grand nombre d'éléments nouveaux subissant des transformations spontanées. L'existence de ces éléments semblait une menace à la généralité du classement. Cependant, la technique de la radiochimie a permis d'aplanir la difficulté, de prouver que tous les radioéléments trouvent leur place dans la classification et d'établir la notion fondamentale de l'isotopie qui consiste à admettre que le type chimique d'un élément est déterminé, non par la valeur de son poids atomique, mais bien par la place occupée dans le Tableau. De plus, les lois qui président aux transformations radioactives ont jeté une vive lumière sur le sens profond de la classification périodique, jusque là complètement obscur, et ont permis de reprendre, sur une base solide, des considérations jusque là purement spéculatives sur la structure des atomes.

D'autre part, les recherches sur les rayons X et les rayons positifs ont élargi et complété la notion de l'isotopie dans toute

sa généralité et ont définitivement dépossédé le poids atomique du rôle qui lui était assigné dans le système périodique. La place occupée dans ce système a été rattachée, au contraire, à une grandeur physique d'importance plus fondamentale : la charge positive du *noyau*, partie centrale de l'atome.

La classification périodique ainsi généralisée avec une interprétation nouvelle nous ramène à la conception de l'unité de la matière, idée grandiose, aussi ancienne que la théorie atomique, mais réfutée en apparence par les déterminations très précises des poids atomiques, auxquels la chimie accordait une signification simple dont ils sont dépourvus.

MADAME PIERRE CURIE : *L'isotopie et les éléments isotopes.* Paris : Les Presses Universitaires de France.

LE MOUVEMENT BROWNIEN

Caractères généraux des phenomènes.—Si l'on examine au microscope de petites particules en suspension dans un liquide, on constate qu'elles sont animées de mouvements rapides, irréguliers et incessants, dans toutes les directions : ces mouvements sont d'autant plus vifs et par suite plus visibles que les particules sont plus petites. Le phénomène a été denommé „ mouvement brownien,'' du nom du botaniste anglais Brown qui l'a découvert en 1827. Son importance au point de vue des théories moléculaires ne fut pas reconnue tout de suite. Il a fallu une longue série d'efforts pour mettre hors de doute sa cause, aujourd'hui certaine, qui n'est autre que l'agitation moléculaire.

Il était naturel de songer, au début, à expliquer le phénomène par les causes physiques les plus communes : inégalités de température, éclairement de la préparation microscopique, trépidations, actions chimiques, actions électriques, etc. Aucune de ces explications ne convient, ainsi qu'il résulte de nombreux travaux expérimentaux, parmi lesquels il importe de rappeler ceux de Gouy. Gouy a de plus mis nettement en évidence les caractères fondamentaux du phénomène : le mouvement ne dépend que de la dimension des particules, non de leur nature ; il semble éternel, c'est-à-dire capable de se poursuivre indéfiniment sans diminution ni modification sensibles. Aussi paraissait-il peu douteux, à la suite de ses expériences, que les particules animées du mouvement brownien ne se comportent comme des bouées au milieu de la

mer des molécules, et ne font que rendre visibles par leurs mouvements irréguliers l'irrégularité même des mouvements et des chocs moléculaires : c'était la preuve directe de l'existence et de l'agitation des molécules.

Des travaux théoriques et expérimentaux de date recente sont venus consolider cette conception par l'appui de vérifications quantitatives. Mais avant d'en aborder l'étude, remarquons avec quelle clarté le mouvement brownien fait ressortir le point de vue fondamental des hypothèses cinétiques : nos observations courantes sur les fluides ne nous font connaître que leurs propriétés moyennes.

Un liquide qui nous paraît immobile quand nous l'observons par des moyens grossiers recèle en réalité une vive agitation interne que les particules en suspension nous rendent manifeste : l'équilibre moyen n'est qu'une apparence qui cache le mouvement réel.

De même la température moyenne nous paraît constante, alors qu'en réalité elle présente forcément des variations ou „ fluctuations " locales. Lorsque par exemple une particule animée du mouvement brownien remonte spontanément malgré son poids, l'accroissement de son énergie potentielle ne peut se faire qu'aux dépens de l'énergie cinétique des molécules voisines, c'est-à-dire aux dépens d'un refroidissement local. On peut remarquer que, dans ce cas, il y a transformation de chaleur en travail sans dépense de travail auxiliaire. Le principe de Carnot ne serait donc pas satisfait, si on voulait lui conserver un énoncé trop tranchant. Rappelons que des considérations théoriques nous ont déjà amenés à admettre que ce principe ne reste pas forcément exact quand on étudie les phénomènes à l'échelle moléculaire. Il n'a que la valeur d'un principe statistique, applicable aux systèmes à très nombreux paramètres, pour lesquels il prend un caractère de certitude : nous trouvons ici la confirmation expérimentale de ce point de vue.

Eugène Bloch, *Théorie cinétique des gaz.* Paris : Armand Colin.

Atomistique

Si enfin nous cessons de nous limiter à notre vision actuelle de l'Univers, et si nous attribuons à la Matière la structure *infiniment* granuleuse que suggèrent les résultats obtenus en Atomistique, alors nous verrons se modifier bien singulière-

ment les possibilités d'une application *rigoureuse* de la continuité mathématique à la Réalité.

Qu'on réfléchisse, par exemple, à la façon dont se définit la densité d'un fluide compressible (de l'air par exemple), en un point et à un instant fixés. On imagine une sphère de volume *v* ayant ce point pour centre, et qui à l'instant donné contient une masse *m*. Le quotient *m/v* est la densité moyenne dans la sphère, et l'on entend par densité *vraie* la valeur limite de ce quotient. Cela revient à dire qu'à l'instant donné la densité moyenne dans la petite sphère est pratiquement constante au-dessous d'une certaine valeur du volume. Et, en fait, cette densité moyenne, peut-être encore notablement différente pour des sphères de 1,000 mètres cubes et de 1 centimètre cube, ne varie plus de 1 millionième quand on passe du centimètre cube au millième de millimètre cube. Pourtant, même entre ces limites de volume (dont l'écart dépend au reste beaucoup des conditions d'agitation du fluide), des variations de l'ordre du milliardième se produisent irrégulièrement.

Diminuons toujours le volume. Loin que ces fluctuations deviennent de moins en moins importantes, elles vont être de plus en plus grandes et désordonnées. Aux dimensions où le mouvement brownien se révèle très actif, mettons pour le dixième de micron cube, elles commencent (dans l'air) à atteindre le millième ; elles sont du cinquième quand le rayon du sphérule imaginé devient de l'ordre du centième de micron.

Un bond encore : ce rayon devient de l'ordre du rayon moléculaire. Alors, en général (du moins pour un gaz), notre sphérule se trouve entièrement dans le vide intermoléculaire, et la densité moyenne y restera désormais nulle : la densité *vraie* est nulle au point qu'on nous a donné. Mais, une fois sur mille peut-être, ce point se sera trouvé à l'intérieur d'une molécule, et la densité moyenne va être alors comparable à celle de l'eau, soit mille fois supérieure à ce qu'on appelle couramment la densité vraie du gaz.

Réduisons toujours notre sphérule. Bientôt, sauf hasard très exceptionnel, en raison de la structure prodigieusement lacunaire des atomes, il va se trouver et restera désormais vide : la densité vraie, au point choisi, est encore nulle. Si pourtant, ce qui n'arrivera pas une fois sur un million de cas, le point donné se trouve intérieur à un corpuscule ou au noyau central de l'atome, la densité moyenne grandira énormé-

ment quand le rayon diminuera, et deviendra plusieurs millions de fois plus grande que celle de l'eau.

Si le sphérule se contracte encore, il se peut que du continu soit retrouvé, jusqu'à un nouvel ordre de petitesse, mais plus probablement (surtout pour le noyau atomique, où la radio-activitê révèle une extrême complication) la densité moyenne redeviendra bientôt et restera nulle, ainsi que la densité vraie, sauf pour certaines positions très rares, où elle atteindra des valeurs colossalement plus élevées que les précédentes.

Bref, le résultat suggéré par l'Atomistique est le suivant : la densité est partout nulle, sauf pour un nombre infini de points isolés où elle prend une valeur infinie.

JEAN PERRIN, *Les atomes.* Paris : Félix Alcan.

LES LOIS DU MOUVEMENT BROWNIEN

Premières vérifications de la théorie d'Einstein (déplacements).—En même temps qu'il publiait ses formules, Einstein observait que l'ordre de grandeur du mouvement brownien semblait tout à fait correspondre aux prévisions de la théorie cinétique. Smoluchowski, de son côté, arrivait à la même conclusion dans une discussion approfondie des données alors utilisables (indifférence de la nature et de la densité des grains, observations qualitatives sur l'accroissement d'agitation quand la température s'élève ou quand le rayon diminue, évaluation grossière des déplacements pour des grains de l'ordre du micron).

On pouvait dès lors sans doute affirmer que le mouvement brownien n'est sûrement pas plus que 5 fois plus vif, et sûrement pas moins de 5 fois moins vif que l'agitation prévue. Cette concordance approximative dans l'ordre de grandeur et dans les propriétés qualitatives donnait tout de suite une grande force à la théorie cinétique du phénomène et cela fut nettement exprimé par les créateurs de cette théorie.

Il ne fut publié, jusqu'en 1908, aucune vérification, ou tentative de vérification qui ajoute le moindre renseignement à ces remarques d'Einstein et de Smoluchowski.[1] Vers ce

[1] Je ne peux faire exception pour le premier travail consacré par Svedberg au mouvement brownien (*Z. für Electrochemie*, t. xii, 1906, p. 853 et 909 ; *Nova Acta Reg. Soc. Sc.*, Upsala, 1907). En effet :

1° Les longueurs données comme déplacements sont de 6 à 7 fois trop fortes, ce qui en les supposant correctement définies, ne marquerait aucun progrès, spécialement sur la discussion due à Smoluchowski ;

moment se place une vérification intéressante mais partielle, due à Seddig [1] Cet auteur a comparé, à diverses températures, les déplacements subis de dixième en dixième de seconde par des grains ultramicroscopiques de cinabre jugés à peu près égaux. Si la formule d'Einstein est exacte, les déplacements moyens d et d' aux températures T et T′ (viscosités ζ et ζ') auront pour rapport

$$\frac{d'}{d} = \sqrt{\frac{T'}{T}}\sqrt{\frac{\zeta}{\zeta'}}$$

soit, pour l'intervalle 17°–90°,

$$\frac{d'}{d} = \sqrt{\frac{273+90}{273+17}}\sqrt{\frac{0{,}011}{0{,}0032}} = 1{,}12 \times 1{,}86 = 2{,}05.$$

L'expérience donne 2,2. L'écart est bien inférieur aux erreurs possibles.

Ces mesures approchées de Seddig prouvent au reste l'influence de la viscosité beaucoup plus que celle de la température (7 fois plus faible dans l'exemple donné, et qu'il sera difficile de rendre très notable.[2]

Ayant des grains de rayon exactement connu, j'avais pu, vers la même époque, commencer des mesures *absolues* [3] et rechercher si le quotient

$$\frac{t}{X^2}\frac{RT}{3\pi a\zeta}$$

qui doit être égal au nombre N d'Avogadro d'après l'équation d'Einstein, a en effet une valeur indépendante de l'émulsion, et sensiblement égale à la valeur trouvée pour N.

2° Et ceci est beaucoup plus grave, Svedberg croyait que le mouvement brownien devenait *oscillatoire* pour les grains ultramicroscopiques. C'est la *longueur d'onde* (?) de ce mouvement qu'il mesurait et assimilait au déplacement d'Einstein. Il est évidemment impossible de vérifier une théorie en se fondant sur un phénomène qui, supposé exact, *serait en contradiction avec cette théorie.* J'ajoute que, à aucune échelle, le mouvement brownien ne présente de caractère oscillatoire.

[1] *Physik. Zeitschrift*, t. IX, 1908, p. 465.

[2] On dit souvent qu'on voit le mouvement brownien s'activer quand la température s'élève. En réalité, à simple vue, on ne pourrait rien affirmer du tout si la viscosité ne diminuait pas.

[3] *Comptes rendus*, t. CXLVII, 1908, *Ann. de Ch. et Phys.*, sept. 1909, etc.

Il s'en faut que cela parût alors tout à fait sûr.[1] Un essai cinématographique tenté par V. Henri où, pour la première fois, la précision était possible [2] venait de se montrer nettement défavorable à la théorie d'Einstein. Je rappelle ce fait parce que j'ai été très vivement frappé de la facilité avec laquelle on fut alors prompt à admettre que cette théorie devait contenir quelque hypothèse injustifiée. J'ai compris par là combien est au fond limité le crédit que nous accordons aux théories, et que nous y voyons des instruments de découverte plutôt que de véritables démonstrations.

En réalité, dès les premiers mesures de déplacements, il fut manifeste que la formule d'Einstein était exacte.

Ibidem.

Propriétés des solutions colloïdales

V. Henry et H. Mayer ont enfermé du bromure de radium dans un tube de verre mince, qui laisse passer les rayons β chargés négativement et non les rayons α chargés positivement. En soumettant divers colloïdes à l'action des rayons β, ils ont coagulé tous les colloïdes positifs, tandis que les colloïdes négatifs restaient non modifiés et semblaient même acquérir une plus grande stabilité.

Le mécanisme de la migration électrique a été établi, d'une part, par Perrin, en se basant sur le phénomène d'osmose électrique et, d'autre part, par J. Duclaux, en se basant sur l'ionisation des micelles.

1° **Théorie de Perrin.**—Si on partage une solution aqueuse en deux régions par un diaphragme poreux, et si on crée une différence de potentiel entre ces deux régions, le liquide se met aussitôt à filtrer au travers du diaphragme et il se produit une dénivellation entre les deux régions (*osmose électrique*). Le sens de la filtration dépend à la fois de la nature du diaphragme et de la solution.

Quincke réussit à produire l'osmose électrique en réduisant le diaphragme à un tube capillaire unique et il proposa d'expliquer l'osmose électrique par *l'électrisation de contact* du

[1] Voir par exemple Cotton, *Revue du Mois* (1908).

[2] *Comptes rendus*, 1908, p. 146. La méthode était tout à fait correcte, et avait le mérite d'être employée pour la première fois. J'ignore quelle cause d'erreur a faussé les résultats.

liquide et de la matière qui forme le tube capillaire ou le diaphragme.

On sait, en effet, que si l'on met un corps solide en présence d'un liquide, il se développe, dans la zone de contact, deux couches électriques de signe contraire (*couche double de Helmholtz*) ; celle des deux couches électriques qui se trouvent du côté du liquide a une très faible épaisseur, mais on peut la considérer comme faisant corps avec le liquide ; au contraire, la couche électrique située du côté de la paroi solide est formée de particules adhérant à cette paroi et faisant corps avec elle. Dès lors, si nous examinons le phénomène dans le cas d'un tube capillaire, une force dirigée suivant l'axe du tube, si petite qu'elle soit, suffira pour déterminer le glissement de la première couche, le long de la paroi de ce tube. Or, on peut réaliser une telle force en créant un champ électrique parallèle à l'axe ; alors, les charges électriques mobiles se déplaceront suivant les lignes de force, avec les particules liquides auxquelles elles sont liées ; celles-ci entraînent par frottement les particules voisines et ainsi de suite, de telle sorte qu'il en resulte un déplacement de tout l'ensemble du liquide.

Dans tout ce qui précède, les conditions d'expérience étaient telles que le liquide seul pouvait se déplacer, mais si nous supposons, avec Perrin, la masse du tube capillaire pulvérisée dans la masse du liquide et dispersée dans celui-ci, le phénomène se modifie considérablement. Prenons, en effet, une particule unique en suspension dans le liquide et soumise à l'action du champ ; cette particule possédera une double couche électrique comme précédemment ; une de ces couches faisant corps avec la particule, l'autre avec le liquide qui l'environne. Si nous pouvions maintenir la particule immobile, tout se passerait comme auparavant et le liquide glisserait contre sa surface ; mais la particule n'est pas immobilisée et comme sa charge propre est de signe contraire à celle du liquide, elle se déplacera en sens inverse du mouvement de ce dernier dans l'expérience précédente.

Donc, dès qu'une particule quelconque, en suspension dans un fluide, se trouve dans un champ électrique, elle devra se mouvoir parallèlement à ce champ et dans un sens déterminé par le signe de l'électricité qui lui est adhérente.

Une expérience très ancienne de Reuss, datant de 1808, permet de se rendre compte simultanément de l'osmose

électrique, de la cataphorèse et de l'opposition du sens dans lequel se manifestent ces deux phénomènes.

Reuss plantait deux tubes de verre dans un même bloc d'argile ; il remplissait à moitié les tubes d'eau et plongeait dans chacun d'eux une électrode ; il vit l'eau s'abaisser dans un des tubes et monter dans l'autre, par suite d'une osmose électrique dirigée dans un certain sens. En même temps, de légères particules d'argile se déplaçaient en sens inverse et donnaient une apparence laiteuse au liquide du tube où l'eau s'abaissait (cataphorèse).

Les liquides ionisants sont les seuls qui s'électrisent fortement par contact et Perrin a démontré que *si un corps solide est électrisé positivement au contact d'un liquide, sa charge positive augmente si on ajoute un acide monobasique ; elle diminue graduellement puis devient négative si on ajoute des quantités croissantes d'alcali. Un phénomène inverse se produit si le corps solide est d'abord chargé négativement au contact d'un liquide, l'addition d'alcali augmente la charge négative et l'addition d'acide la diminue puis la rend positive.*

Les ions H + de l'acide monobasique et OH — de l'alcali ont donc une action très accusée sur le signe de la charge et, par conséquent, sur le sens dans lequel se manifestent les phénomènes d'osmose électrique et de cataphorèse.

On a expliqué l'action préférentielle des ions H +, lorsqu'une solution acide RH intervient, en admettant que, parmi les ions R — et H +, seuls ces derniers sont absorbés par le corps solide. S'il s'agit au contraire d'une base M(OH), le corps solide présente une absorption spécifique préférentielle pour les ions (OH —).

Les ions polyvalents agissent, comme les ions H + et OH —, suivant leurs signes propres, mais leur action est beaucoup moins accusée et elle l'est d'autant moins que leur valence est plus élevée.

LOUIS MEUNIER, *Chimie des colloïdes et applications industrielles.* Paris : J.-B. Baillière et Fils.

L'ATOME DE RUTHERFORD

C'est l'étude du passage des rayons $^{\alpha}$ à travers la matière qui a révélé les caractères fondamentaux de la structure des atomes.

L'expérience a montré que les particules $^{\alpha}$ peuvent traverser,

sans subir une forte déviation, des pellicules métalliques de plusieurs centièmes de millimètre d'épaisseur ou bien des couches de gaz de plusieurs centimètres. Connaissant le nombre d'Avogadro, il est facile de calculer que ces pellicules ou ces couches de gaz représentent des milliers d'atomes juxtaposés. Il est donc exclu, étant données les dimensions des atomes, que les particules α passent dans les interstices qu'ils laissent entre eux ; il faut qu'ils traversent les atomes eux-mêmes.

Ce phénomène ne serait pas concevable si les atomes étaient massifs ; il met en évidence leur structure extrêmement lacunaire. L'atome doit être formé de particules très petites par rapport à ses propres dimensions et qui laissent entre elles des espaces relativement très grands. Ces particules, d'après ce que nous avons dit de la constitution électrique de la matière, ne peuvent être que des électrons négatifs qui sont accompagnés de charges positives, puisque l'atome est un tout électriquement neutre.

Les particules α ne traversent cependant pas toutes la matière sans aucune diffusion. Certaines d'entre elles subissent des déviations plus ou moins marquées qu'il faut attribuer à l'action des forces électriques dont l'atome est le siège et qui donnent de précieux renseignements sur la répartition des charges positives et négatives.

Une explication de ces déviations a été tentée par J.-J. Thomson sur la base d'une conception de la structure atomique qui a joui pendant quelques années d'une certaine faveur.

Partant du fait que l'énergie positive est inséparable de la matière au sens ordinaire du terme, ce savant a supposé que l'atome consiste en une masse d'électricité positive uniformément répartie dans une sphère dont les dimensions correspondent à celles de l'atome et qui contient les électrons négatifs distribués régulièrement et en nombres déterminés sur des surfaces concentriques. En admettant que les lois classiques des actions électrostatiques sont applicables à de tels systèmes, on peut démontrer qu'ils représentent des configurations stables. Ces *modèles d'atomes* permettent de rendre compte de certaines propriétés générales de la matière. On a dû cependant les abandonner, car certains phénomènes ne suivent pas du tout les lois qu'ils laissent prévoir.

La théorie de Thomson relative à la dispersion des rayons α suppose, en effet, que ces particules ne subissent jamais qu'un

très faible changement de direction quand elles traversent un atome. Les fortes déviations qu'on observe toujours en petit nombre sont attribuées à des rencontres répétées. Or, cette hypothèse conduit à des conséquences qui sont en désaccord avec les faits. Le nombre des particules déviées d'un certain angle diminue, à mesure que cet angle augmente, beaucoup plus lentement que la théorie ne l'exige. En outre, la déviation moyenne d'un grand nombre de particules qui, théoriquement, devrait s'accroître proportionnellement à la racine carrée de l'épaisseur de la pellicule mécanique (ou de la couche de gaz), varie réellement en raison directe de l'épaisseur.

Une analyse serrée des résultats expérimentaux de Geiger et Marsden a conduit Rutherford à la conclusion que la rencontre avec un seul atome détermine parfois une déviation très forte, dépassant même 90°. Cette conclusion ne peut aujourd'hui être l'objet d'aucun doute. Elle est devenue un fait observé depuis que les belles expériences de Wilson ont permis de photographier le trajet des particules α grâces aux traînées de gouttelettes d'eau qu'elles produisent dans une atmosphère sursaturée d'humidité. On observe parfois dans ces trajectoires un brusque changement de direction.

Si on considère la grande vitesse et la masse relativement élevée des particules α, il devient évident que de telles déviations révèlent l'action d'un champ de force d'une extrême intensité qui ne peut exister dans l'atome de Thomson. Pour obtenir un champ assez puissant, il faut supposer, avec Rutherford, que la charge positive n'est pas répartie dans tout le volume de l'atome, mais qu'elle est concentrée en son centre dans un espace très petit, tandis que les électrons sont répartis autour de ce *noyau positif* dans une région relativement grande qui correspond au volume atomique.

Mais il est clair que, dans cette hypothèse, les électrons ne peuvent plus être supposés en repos. Pour qu'ils ne tombent pas sur le noyau qui les attire, il faut qu'ils soient animés d'un mouvement de révolution. L'atome de Rutherford se présente ainsi comme un système solaire en miniature dans lequel le soleil est représenté par le noyau positif et les planètes par des électrons plus ou moins nombreux.

Une étude approfondie de la dispersion des rayons α dans leur passage à travers la matière a pleinement confirmé l'hypothèse de Rutherford et elle a fourni de précieuses

indications sur une grandeur d'une importance essentielle, à savoir, la charge du noyau positif.

A. BERTHOUD, *La constitution des atomes.* „Collection Payot." Paris : Payot.

EXAMINATION PAPERS, UNIVERSITY OF LONDON

L'ammoniaque était connue depuis très longtemps et sa faculté de combinaison avec les acides, sa nature basique était également établie. On savait que ce corps était composé d'hydrogène et d'azote ; mais il était naturel de croire d'abord que, puisque les alcalis fixes contenaient de l'oxygène, l'alcali volatil pouvait en contenir aussi. Des expériences nombreuses furent faites dans l'espérance de le prouver ; mais toutes furent infructueuses ; on ne put trouver dans cet alcali que de l'hydrogène et de l'azote. Cependant Davy, persuadé que l'oxygène devait être un de ses principes constituants, pensa que l'hydrogène et l'azote pourraient bien par leur combinaison constituer une sorte de métal auquel il proposa de donner le nom d'ammonium, et qu'en conséquence l'ammoniaque ne serait que de l'oxyde d'ammonium.—Interm. (Birkbeck College), 1922.

L'acide fluorhydrique est principalement employé à la gravure sur verre. Pour cela, on enduit la plaque de verre à graver d'un vernis inattaquable aux acides, fait par exemple en dissolvant du bitume de Judée dans la benzine ; quand ce vernis est bien sec, on y fait avec une pointe les traits que l'on veut graver, en ayant soin de mettre le verre à nu. Puis on soutient la plaque renversée au-dessus d'une capsule en plomb contenant du fluorure de calcium en poudre et de l'acide sulfurique légèrement chauffés ; les vapeurs d'acide fluorhydrique attaquent le verre partout où la pointe a passé, et le gravent. En dissolvant ensuite le vernis dans la benzine, les traits apparaissent. On pourrait aussi entourer la plaque d'un rebord de caoutchouc ou de guttapercha, et verser dans la cuvette formée ainsi une dissolution d'acide fluorhydrique. Seulement les traits obtenus sont alors transparents, tandis que par la première méthode ils sont opaques et par conséquent plus visibles.—Gen. Interm., 1922.

L'eau est décomposée par le chlore à la température du rouge et l'oxygène est mis en liberté. C'est d'ailleurs une

réaction réversible, et l'état d'équilibre du système chlore, oxygène, acide chlorhydrique et eau varie avec la température, la pression, et la condensation.

A la température ordinaire et sous l'influence de la lumière, la même réaction se produit, mais sans être limitée par la réaction inverse ; de plus il se forme, comme produit secondaire, une petite quantité d'acide chlorique. La décomposition de l'eau de chlore par la lumière est lente dans les conditions ordinaires, mais elle devient presque instantanée en présence d'un corps avide d'oxygène, comme l'acide sulfureux ou l'acide arsénieux ; ceux-ci sont alors transformés en acides sulfurique ou arsénique. C'est à cette propriété de jouer le rôle de corps oxydant en présence de l'eau que le chlore doit la plupart de ses applications comme décolorant et comme désinfectant.—Interm., 1923.

Peu de temps après, Stahl fit connaître son importante théorie du phlogistique. Becher avait indiqué que les corps combustibles et les métaux renfermaient les trois terres vitrifiable, mercurielle et inflammable. Par le fait de leur combustion la terre inflammable se dégageait. Stahl donna à cette terre inflammable le nom de phlogistique, et put réunir, en un corps de doctrines, les phénomènes de combustion et de réduction.—B.Sc. Pass, 1923.

Le carbone est un des corps les moins fusibles, puisqu'il a été possible de fondre tous les autres corps usuels au four électrique, y compris la magnésie, au moyen d'électrodes en charbon dont la température est nécessairement plus élevée que celle des corps placés à leur voisinage et chauffés par rayonnement. On ne possède aucune indication certaine sur le point de fusion du carbone ; quelques indices conduisent à supposer qu'il doit être voisin de 3500° ; température la plus élevée des charbons dans l'arc électrique. Le point de départ de cette hypothèse est le fait expérimental suivant : lorsqu'on fait jaillir l'arc électrique alimenté par le courant continu entre deux électrodes de charbon, celle du pôle positif prend une température invariable, indépendante de l'intensité du courant, l'étendue de la région chauffée croît seule avec l'intensité du courant. On peut expliquer, dans une certaine mesure, l'existence de ce point fixe par le voisinage du point de fusion ; cette hypothèse semble confirmée par le fait que le charbon arraché à l'électrode négative vient se coller sur

l'électrode positive comme le ferait une masse pâteuse. On admet parfois, au contraire, que la fixité de cette température correspond au point d'ébullition du carbone sous la pression atmosphérique, le charbon se volatilisant sans passer par l'état liquide. On pourrait vérifier l'exactitude de cette hypothèse en faisant jaillir l'arc électrique dans le vide, la température du cratère positif devrait s'abaisser considérablement.—B.Sc. Hons., 1923.

Bioxyde d'hydrogène (eau oxygénée).—On prépare l'eau oxygénée en faisant agir un acide sur un peroxyde métallique dont le type se rattache au bioxyde d'hydrogène, savoir : bioxyde de baryum, bioxyde de sodium ou de potassium, dans lesquels le groupe O^2 intervient comme bivalent. Le bioxyde de manganèse, le bioxyde de plomb ne fournissent pas de bioxyde d'hydrogène. Le bioxyde de baryum est le plus employé, et il y a avantage à l'employer sous la forme d'hydrate $BaO^2 . 8H^2O$ que l'on obtient immédiatement en humectant d'eau le bioxyde anhydre pulvérisé, et agitant fréquemment, pendant quelque temps. L'acide employé pour attaquer le bioxyde peut être l'acide chlorhydrique, l'acide phosphorique, l'acide sulfurique, ou même l'anhydride carbonique en présence d'eau. Tous ces acides, sauf l'acide chlorhydrique, fournissent un sel de baryum insoluble, et donnent du premier coup une solution de bioxyde d'hydrogène, où existe seulement une petite proportion de l'un des facteurs de la réaction, bioxyde ou acide.—Interm., 1924.

Gaz de l'air.—Tous ces gaz peuvent être extraits de l'air liquide par distillation fractionnée. L'air est liquéfié, au moyen d'une machine spéciale, et reçu dans des flacons à double paroi. L'azote et les gaz les plus légers, néon et hélium, conservent l'état gazeux, mais sont ensuite liquéfiés par refroidissement au moyen de l'air liquide bouillant, sous pression réduite, dans un appareil disposé à cet usage. On fait bouillir ces derniers gaz en abaissant la pression ; il se fait une espèce de fractionnement permettant de recueillir d'abord de l'azote en quantité prépondérante, de l'oxygène et des gaz encore plus légers. L'oxygène et l'azote ont été éliminés par le cuivre au rouge et par un mélange de magnésium et de chaux ; il reste de l'argon, mélangé de néon et d'hélium, dont on peut le séparer par fractionnement méthodique. On a séparé le néon et l'hélium en solidifiant

le premier au moyen de l'hydrogène liquide, tandis que l'hélium reste gazeux.—B.Sc. Pass, 1924.

La simplicité des spectres de haute fréquence, la régularité de leur structure, ainsi que la loi de Moseley placent les rayons X dans une situation favorable pour déceler la présence des éléments chimiques au moyen de leurs radiations propres ; on ne possède pas encore de données précises sur la sensibilité que présenterait ce moyen d'analyse, mais l'existence d'impuretés, même en très faible quantité, dans une anticathode, se traduit par l'apparition de raies étrangères dans le spectre. La table de Mendéléeff présente cinq cases vides ; les numéros 43, 75 et 85 de la huitième colonne, le 57 de la première colonne et le 61 qui se place entre le néodyme et le samarium. Déjà les spectres de rayons X ont apporté un ordre complet dans la série des terres rares en discernant sans ambiguité les éléments distincts et en confirmant notamment la séparation de l'ancien ytterbium en néo-ytterbium 70 et lutécium 71 par Urbain, ainsi que le caractère simple du thulium 69.—B.Sc. Hons., 1924.

SECTION II. PHYSICS

Vitesse du son

Vitesse du son influencé par les phénomènes thermiques.—Il s'était présenté un problème de dynamique où l'oubli des phénomènes calorifiques avait empêché de trouver la solution exacte ; c'est le problème de la propagation du son dans l'air. Le mécanicien qui étudie le mouvement d'un corps peut, à la rigueur, fermer systématiquement les yeux sur le dégagement de chaleur qui se produit ; cette chaleur ne modifie pas les lois du mouvement, et l'effet calorifique ne réagit pas sur le phénomène mécanique. Il en est tout autrement lorsqu'un mouvement vibratoire se propage dans l'air ; à chaque compression qu'il subit, le gaz s'échauffe pour se refroidir lorsqu'il se détend ; or, ces changements de température modifient profondément les propriétés élastiques du fluide, propriétés qui conditionnent la propagation de l'ébroulement. Dès 1687, Newton avait soumis au calcul la propagation du son dans l'air, et avait trouvé, pour la vitesse de propagation, un nombre qui, transformé dans notre système d'unités, donne environ deux cent quatre-vingt-dix mètres par seconde ; l'expérience donnait une valeur sensiblement plus élevée. Pendant près d'un siècle, le désaccord entre le résultat du calcul et celui de l'expérience resta une sorte de scandale scientifique ; les expériences faites soit pour mesurer plus exactement la vitesse du son, soit pour obtenir avec plus de précision les données qui servent de base au calcul ne firent que rendre plus certain le désaccord. Dans les tentatives infructueuses pour en trouver la cause, on rencontre les plus grands noms de la science au dix-huitième siècle ; Lagrange, Euler ne purent formuler que des explications inacceptables.

C'est Laplace qui, dans les premières années du dix-neuvième siècle, résolut cette troublante difficulté, en indiquant que l'on avait oublié de tenir compte du changement de tempéra-

ture produit par la compression de l'air. Ce phénomène était connu depuis longtemps, mais il n'avait jamais été l'objet de mesures précises ; Laplace vit dans ce changement de température la cause de l'erreur de Newton. Si, en effet, l'air s'échauffe au moment où il se comprime, son élasticité en est modifiée, et la loi de compressibilité admise par Newton est inexacte ; implicitement, on avait supposé la température invariable, et cette hypothèse était fausse. Laplace ne paraît pas avoir trouvé immédiatement le moyen de mettre en équations cet aperçu ; il en parlait souvent, mais les propriétés des gaz n'étaient pas encore assez bien connues pour que l'on pût trouver la formule exacte. Poisson fit faire un grand pas à la question en introduisant les deux chaleurs spécifiques de l'air, et en donnant la loi exacte de compressibilité lorsque la compression a lieu à température variable, sans échange de chaleur. Les raisonnements de Poisson sont, il est vrai, assez confus ; il faisait de la thermodynamique sans le savoir, et avant la découverte des principes qui régissent cette science ; les résultats sont cependant exacts et les notions introduites très importantes. Très peu de temps après (1816), Laplace put reprendre son idée, et donner la formule correcte pour calculer la vitesse du son. Il manquait une donnée pour achever le calcul ; on ne connaissait pas le rapport des deux chaleurs spécifiques de l'air. Ce nombre fut bientôt déterminé (1819) par Clément et Desormes ; la formule de Laplace donna alors, pour la vitesse du son dans l'air, un résultat parfaitement conforme au résultat de l'expérience. Ce succès avait attiré de nouveau l'attention sur cette vitesse, déjà bien des fois mesurée ; en 1822, on jugea utile de faire une nouvelle détermination, sans changer en rien la méthode employée par les académiciens de 1738, mais en apportant plus de soin dans l'élimination des petites causes d'erreur. L'expérience fut faite aux environs de Paris, entre Villejuif et Montlhéry ; Laplace avait été l'instigateur de l'expérience, et les observateurs furent Prony, Bouvard, Mathieu et Arago. Le résultat est le plus exact qui ait été obtenu jusqu'aux expériences de Regnault.

Un véritable scandale scientifique venait ainsi de prendre fin ; en même temps, on avait pris sur le fait et soumis au calcul un exemple remarquable de liaison entre phénomène mécanique et phénomène calorifique. On aurait pu s'attendre, après cette alerte et ce succès, à ce que les mécani-

ciens prissent intérêt à l'ensemble des phénomènes calorifiques qui accompagnent les transformations mécaniques. Il n'en fut rien et à l'admiration que soulève en nous la découverte de Laplace et de Poisson se joint l'étonnement de constater que ces grands mathématiciens ont passé à côté du premier principe de la thermodynamique. Probablement, tout les invitait à ne pas s'y arrêter, et d'abord le langage employé, qui, plus souvent que nous ne le croyons, conduit nos pensées. Le mot de calorique revient constamment sous leur plume, même sous celle de Laplace qui avait eu de si beaux aperçus sur la chaleur et le mouvement ; ce mot n'était pas fait pour pousser aux méditations sur la production de chaleur par dépense du travail mécanique. Cependant, l'œuvre ne fut pas perdue ; c'est le problème de la vitesse du son qui avait attiré l'attention sur la détente des gaz ; c'est des données acquises à ce propos que trente ans plus tard le physiologiste allemand Mayer devait tirer la première valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur.

CHARLES FABRY, *Histoire de la physique.* (*Histoire de la nation française*, ed. Gabriel Hanotaux, tome xiv.) Paris : Plon-Nourrit.

ACOUSTIQUE

1. **L'acoustique.**—La partie de la physique que l'on appelle *l'Acoustique* a pour objet l'étude des phénomènes sonores. Elle possède quelques particularités distinctives ; tout d'abord elle se caractérise par l'absence de toute hypothèse spéciale, ayant une importance essentielle, comme c'est le cas, par exemple, pour les hypothèses qui sont à la base de l'étude de l'énergie rayonnante, de l'énergie calorifique ou de l'énergie électrique. Les mouvements vibratoires de la matière, qui sont intimement liés aux phénomènes sonores, sont le plus souvent perçus d'une manière immédiate ; on peut les voir, les ressentir et leur réalité ne souffre aucun doute. L'acoustique, en tant qu'étude d'un groupe déterminé de phénomènes, se rapproche donc bien plus que les autres parties de la Physique de cet idéal vers lequel tend la Science et qui consiste à soumettre complètement les faits naturels aux principes de la Mécanique, sans introduire aucune substance hypothétique, aucune propriété particulière de la matière, ou aucune force de nature spéciale.

Au point de vue purement mécanique, *l'acoustique est un chapitre de la théorie de l'élasticité,* qui traite des différents cas de propagation des mouvements vibratoires dans un milieu déformable. *L'acoustique expérimentale* a pour but de reproduire les circonstances que l'on étudie ainsi théoriquement et de vérifier les résultats obtenus. Mais les phénomènes sonores présentent encore un très grand intérêt à deux autres points de vue. *En premier lieu,* ils sont perçus par l'oreille, entre certaines limites il est vrai, et produisent des impressions de nature particulière appelées *impressions de l'ouïe.* Cette circonstance a une grande influence sur la méthode d'observation des phénomènes reproduits dans l'acoustique expérimentale : nous jugeons le plus souvent de l'existence de ces phénomènes d'après l'impression subjective de l'oreille. Un élément physiologique apparaît donc en acoustique ; on y considère la structure de l'oreille et la façon dont les vibrations sonores sont perçues par elle. D'organe de la parole, en tant que source de son, présente d'ailleurs aussi un intérêt en acoustique. *En second lieu,* l'acoustique étudie la musique, l'un des arts les plus importants et les plus répandus dans l'humanité : la relation entre l'acoustique physique et la musique est infiniment plus intime que celle qui existe entre l'optique et la peinture, par exemple.

2. **Le son.**—Il faut distinguer deux notions du son, l'une subjective ou physiologique, l'autre objective ou physique. Le son, en tant que phénomène *physiologique,* est une sensation de nature particulière, perçue par l'organe de l'ouïe et produite par les vibrations matérielles qui parviennent à cet organe. Le son, en tant que phénomène *physique,* consiste dans ces vibrations elles-mêmes.

Ces deux notions du son sont loin d'être identiques, car il existe des vibrations que l'organe de l'ouïe ne perçoit pas et qui, cependant, ne diffèrent par aucune propriété essentielle des vibrations agissant sur cet organe ; on dit alors que les sons sont imperceptibles. La cause de cette absence d'action physiologique peut résider, par exemple, dans l'extrême faiblesse du son ou dans le nombre, trop grand ou trop petit, des vibrations. Il est intéressant de remarquer qu'un même son (un son très faible où très intense, par exemple), peut-être perçu par certaines personnes et ne pas l'être par d'autres ; il existe pour les premières un phénomène physiologique du

son, là où il n'en existe pas pour les dernières. De même un phénomène objectif ou physique du son peut se produire, dans le cas où un phénomène physiologique n'a lieu pour personne.

Le *sifflet de* Galton est très commode pour produire des sons *imperceptibles.* C'est un petit sifflet, dont on peut diminuer la longueur ; son extrémité ouverte est reliée par un tube flexible à une poire en caoutchouc. En pressant sur la poire, on chasse l'air qu'elle contient dans le sifflet, qui produit un son strident. Si l'on raccourcit peu à peu le tuyau, on obtient un son de plus en plus élevé, qui, finalement, cesse d'être perçu par certaines personnes, alors que d'autres l'entendent encore. En continuant à raccourcir le tuyau, le son cesse d'exister pour tout le monde, comme phénomène physiologique, tandis que l'on ne peut avoir aucun doute sur la persistance du phénomène physique.

L'acoustique s'occupe surtout du son considéré comme *phénomène physique.*

O. D. Chwolson, *Traité de physique.* Tome premier. Paris : Librairie scientifique A. Hermann.

Force de torsion et élasticité du fils de métal

La méthode pour déterminer la force de torsion, d'après l'expérience, consiste à suspendre par un fil de métal un poids cylindrique, de manière que son axe soit vertical ou dans la direction du fil de suspension. Tant que le fil de suspension ne sera point tordu, le poids restera en repos ; mais si l'on fait tourner ce poids autour de son axe, le fil se tordra et fera effort pour se rétablir dans sa situation naturelle ; si pour lors on abandonne le poids, il oscillera plus ou moins de temps, suivant que la réaction élastique de torsion sera plus ou moins parfaite. Si, dans ce genre d'expériences, on observe avec soin la durée d'un certain nombre d'oscillations, il sera facile de déterminer, par les formules du mouvement oscillatoire, la force de réaction de torsion qui produit ces oscillations. Ainsi, en faisant varier la pesanteur du poids suspendu, la longueur des fils de suspension et leur grosseur, on peut espérer de déterminer les lois de la réaction de torsion relativement à la tension, à la longueur, à la grosseur et à la nature de ces fils.

Si le fil de métal était parfaitement élastique, si la résist-

ance de l'air n'altérait pas l'amplitude des oscillations, le poids soutenu par le fil de métal une fois en mouvement oscillerait jusqu'à ce qu'on l'arrêtât. La diminution des amplitudes des oscillations ne peut donc être attribuée qu'à la résistance de l'air et qu'à l'imperfection de l'élasticité de torsion ; ainsi, en observant la diminution successive de l'amplitude de chaque oscillation et en retranchant la partie de l'altération qu'il faut attribuer à la résistance de l'air, on pourra, au moyen des formules du mouvement oscillatoire appliquées à ces expériences, déterminer suivant quelles lois ette force élastique de torsion est altérée.

Mémoires de Coulomb. Tome I, Collections de mémoires relatifs à la physique, publiés par la Société française de Physique, Paris.

Balance pour mesurer le frottement des fluides contre les solides

La formule qui exprime la résistance des fluides contre un corps en mouvement paraît composée de plusieurs termes, dont les uns dépendent du choc des fluides contre le corps solide, et dont les autres sont dûs au frottement du fluide : parmi les termes dûs au frottement, il y en a un qui dépend de l'adhérence, et que l'on croit constant ; mais ce terme est si petit que, confondu dans les expériences avec les autres quantités qui dépendent du choc, il est très difficile de l'évaluer : on peut voir les expériences que M. Newton a faites pour découvrir cette quantité constante. (*Livre II des Principes mathématiques de la philosophie naturelle, Scolie du vingt-cinquième théorème.*)

La force de torsion donne un moyen facile de déterminer par l'expérience cette adhérence.

Ibidem.

De l'altération de la force élastique dans les torsions des fils de métal. Théorie de la cohérence et l'élasticité.

Lorsque l'on tord les fils de fer ou de laiton, tendus, comme dans les expériences qui précèdent, par un poids, on observe deux choses : si l'angle de torsion n'est pas considérable, relativement à la longueur du fil de suspension, dans le

moment où l'on lâche le poids, il revient à peu près à la position qu'il avait avant la torsion du fil de métal, c'est-à-dire que le fil de suspension se détord de toute la quantité dont il a été tordu ; mais si l'angle de torsion que l'on aura donné au fil de suspension est très grand, pour lors ce fil ne se détord que d'une certaine quantité, et le centre de réaction de torsion s'avancera de toute la quantité dont le fil ne sera pas détordu. C'est donc d'après ces deux considérations qu'il faut diriger les expériences que nous devons faire dans cette section, ce qui demande deux suites d'expériences ; la première, pour déterminer, par la diminution des oscillations, de combien la force élastique de torsion est altérée dans le mouvement oscillatoire, quoique le centre de réaction de torsion ne soit pas déplacée ; la seconde, pour déterminer le déplacement de ce centre de réaction lorsque l'angle de torsion est assez grand pour que ce déplacement ait lieu.

Première expérience

Fil de fer n° 1, longueur 6 *pouces* 6 *lignes* (17,96)

On a pris un fil de fer de 6 pouces 6 lignes de longueur, il a été chargé d'un poids de 2 livres. On a cherché, en faisant tourner ce cylindre autour de son axe pour tordre le fil de suspension, à déterminer de combien de degrés l'amplitude diminuait à chaque oscillation, et l'on a trouvé :

	Angle de torsion.	*Perte de* 10° *en*
Premier essai . .	90°	$3\frac{1}{2}$ oscillations
Deuxième essai .	45	$10\frac{1}{2}$
Troisième essai .	$22\frac{1}{2}$	23
Quatrième essai .	$11\frac{1}{4}$	46

Remarque sur cette expérience

Les diminutions des amplitudes des oscillations ont été très incertaines, lorsque l'angle primitif de torsion a été de plus de 90° ; on a même observé que pour lors, en faisant tourner le cylindre autour de son axe, il ne revient pas à sa première position et que la position respective des parties constitutives du fil a été altérée, et, par conséquent, que son centre de réaction de torsion est resté déplacé.

Ibidem.

De l'action mutuelle entre un conducteur électrique et un aimant[1]

C'est cette action découverte par M. Œrsted qui m'a conduit à reconnaître celle de deux courants électriques l'un sur l'autre, celle du globe terrestre sur un courant, et la manière dont l'électricité produisait tous les phénomènes que présentent les aimants, par une distribution semblable à celle qui a lieu dans le conducteur d'un courant électrique, suivant des courbes fermées perpendiculaires à l'axe de chaque aimant.

Les expériences que j'ai faites sur l'action mutuelle des conducteurs qui mettent en communication les extrémités d'une pile voltaïque m'ont montré que tous les faits relatifs à cette action peuvent être ramenés à deux résultats généraux, qu'on doit considérer d'abord comme uniquement donnés par l'observation, en attendant qu'on puisse les ramener à un principe unique, en déterminant la nature et, s'il se peut, l'expression analytique de la force qui les produit. Je commencerai par les énoncer sous la forme qui me paraît la plus simple et la plus générale.

Ces résultats consistent, d'une part, dans l'action directrice d'un de ces corps sur l'autre ; de l'autre part, dans l'action attractive ou répulsive qui s'établit entre eux, suivant les circonstances.

Action directrice.—Lorsqu'un aimant et un conducteur agissent l'un sur l'autre, et que l'un d'eux étant fixe, l'autre ne peut que tourner dans un plan perpendiculaire à la plus courte distance du conducteur et de l'axe de l'aimant, celui qui est mobile tend à se mouvoir, de manière que les directions du conducteur et de l'axe de l'aimant forment un angle droit, et que le pôle de l'aimant qui regarde habituellement le nord soit à gauche de ce qu'on appelle ordinairement le *courant galvanique,* dénomination que j'ai cru devoir changer en celle de courant électrique, et le pôle opposé à sa droite, bien entendu que la ligne qui mesure la plus courte distance du conducteur et l'axe de l'aimant rencontre la direction de cet axe entre les deux pôles. Pour conserver à cet énoncé toute la généralité dont il est susceptible, il

[1] Ce Mémoire renferme le résumé des lectures faites par Ampère à l'Académie les 18 et 25 septembre, les 9, 16 et 30 octobre et le 6 novembre 1820.

faut distinguer deux sortes de conducteurs : 1° la pile même, dans laquelle le courant électrique, dans le sens où j'employé ce mot, se porte de l'extrémité où il se produit de l'hydrogène dans la décomposition de l'eau à celle d'où l'oxygène se dégage ; 2° le fil métallique qui unit les deux extrémités de la pile, et où l'on doit alors considérer le même courant comme se portant, au contraire, de l'extrémité qui donne de l'oxygène, à celle qui développe de l'hydrogène. On peut comprendre ces deux cas dans une même définition, en disant qu'on entend par courant électrique la direction suivant laquelle l'hydrogène et les bases des sels sont transportés par l'action de toute la pile, en concevant celle-ci comme formant avec le conducteur un seul circuit, lorsqu'on interrompt ce circuit pour y placer, soit de l'eau, soit une dissolution saline que cette action décompose. Au reste, tout ce que je vais dire sur ce sujet ne suppose aucunement qu'il y ait réellement un courant dans cette direction, et on peut ne considérer que comme une manière commode et usitée de la désigner l'emploi que je fais ici de cette dénomination de courant électrique.

Dans les expériences de M. Œrsted, cette action directrice se combine toujours avec celle que le globe terrestre exerce sur l'aiguille aimantée, et se combine en outre quelquefois avec l'action que je décrirai tout à l'heure sous la dénomination d'*action attractive ou répulsive* ; ce qui conduit à des résultats compliqués dont il est difficile d'analyser les circonstances et de reconnaître les lois.

Pour pouvoir observer les effets de l'*action directrice* d'un courant électrique sur un aimant, sans qu'ils fussent altérés par ces diverses causes, j'ai fait construire un instrument que j'ai nommé *aiguille aimantée astatique*. Cet instrument consiste dans une aiguille aimantée AB fixée perpendiculairement à un axe CD, qu'on peut placer dans la direction que l'on veut, au moyen d'un mouvement semblable à celui du pied d'un télescope et deux vis de rappel E, F. L'aiguille ainsi disposée ne peut se mouvoir qu'en tournant dans un plan perpendiculaire à cet axe, dans lequel on a soin que son centre de gravité soit exactement placé, en sorte qu'avant qu'elle soit aimantée on puisse s'assurer que la pesanteur n'a aucune action pour la faire changer de position. On l'aimante alors, et cet instrument sert à vérifier que tant que le plan où se meut l'aiguille n'est pas perpendiculaire à la

direction de l'aiguille d'inclinaison, le magnétisme terrestre tend à faire prendre à l'aiguille aimantée la direction de celle des lignes tracées sur ce plan qui est le plus rapprochée possible de l'axe de l'aiguille d'inclinaison, c'est-à-dire, la direction de la projection de cet axe sur le même plan. On rend ensuite, au moyen des vis de rappel, le plan où se meut l'aiguille aimantée perpendiculaire à la direction de l'aiguille d'inclinaison ; le magnétisme terrestre n'a plus alors aucune action pour la diriger, et elle devient ainsi complètement astatique. L'instrument porte dans le même plan un cercle LMN divisé en degrés, sur lequel sont fixés deux petits barreaux de verre GH, IK, pour attacher les fils conducteurs, dont l'action directrice agit alors seule et sans complication avec la pesanteur et le magnétisme terrestre.

La principale expérience à faire avec cet appareil est de montrer que l'angle entre les directions de l'aiguille et du conducteur est toujours droit quand l'*action directrice* est la seule qui ait lieu.

M.-A. AMPÈRE : Tome 2, Collection de mémoires relatifs à la physique, publiés par la Société française de physique, Paris.

DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ D'UN CORPS SOLIDE

Évaluation directe du volume.—Lorsque le corps à essayer affecte certaines formes simples, on peut calculer son volume à l'aide de la géométrie. Il suffit alors d'exprimer la masse du corps en grammes, et son volume en centimètres cubes, et d'effectuer le quotient des nombres qui mesurent cette masse et ce volume.

Voici par exemple un prisme droit à base carrée, en verre, qui a pour côté de base 2 centimètres et pour hauteur 5 centimètres ; il pèse $52^{gr},46$ (sa masse est de $52^{gr},46$). La densité de ce verre est donc :

$$\frac{52,46}{2^2 \times 5} = 2,623$$

Il faut observer ici que l'on ne peut obtenir exactement la densité par cette méthode, que si les poids marqués et la règle divisée qui ont servi à effectuer les mesures ont été comparés aux étalons. Ces comparaisons sont, au contraire, inutiles dans les méthodes suivantes.

Méthode du flacon.—Le poids du corps P se détermine directement ; son volume s'obtient en évaluant le poids P^1 de l'eau expulsée d'un flacon à contenance invariable par l'immersion du solide.

Ce procédé est le plus précis de tous, parce que, d'une part, les pesées peuvent être effectuées au demi-milligramme, et que d'autre part, la méthode se prête facilement à toutes les corrections. Regnault a simplifié l'opération en l'exécutant à zéro. Cette température a le double avantage d'être connue avec certitude et de pouvoir être maintenue pendant un temps aussi long qu'il est nécessaire ; l'influence de la poussée de l'air reste donc seule à éliminer.

On a alors :

$$D = \frac{P}{P^1} 0{,}999878 - \frac{P - P'}{P'} (1 + \delta t)a$$

t étant la température du corps au moment de la pesée, δ son coefficient de dilatation cubique et *a* la densité de l'air. Mais il est évident qu'en connaissant le coefficient de dilatation cubique du corps essayé, on peut opérer à la température ambiante. La table de Rossetti permet de calculer le volume de l'eau déplacée d'après son poids.

Le flacon à densité pour l'essai des solides est formé par un bouchon rodé, creux, capillaire sur une partie de sa longueur, terminé à sa partie supérieure par une petite coupe ; un trait de jauge est tracé au milieu de la partie capillaire. Sa contenance est d'environ 60 centimètres cubes. Pour opérer sur de plus gros fragments, il est préférable de faire usage d'un vase de Boudréaux, légèrement conique, à tabulure latérale de déversement.

L'opération est conduite de telle façon que l'on pèse d'abord le flacon empli d'eau, puis avec le corps solide plongé dans l'eau. Il faut naturellement avoir soin que l'immersion soit parfaite et qu'il n'y ait aucune bulle d'air.

D. SIDERSKY, *Les constantes physico-chimiques.* Paris : Masson et Cie.

LES MACHINES QUI FONCTIONNENT AVEC DEUX SOURCES DE CHALEUR

Arrivons maintenant à l'étude du second type de machine qui met en jeu deux sources dont la plus chaude lui cède

de la chaleur, tandis qu'elle cède de la chaleur à la plus froide. Considérons le cas le plus intéressant où cette machine est réversible. Elle jouit alors de propriétés remarquables et de la plus haute importance.

Sadi Carnot nous a donné un exemple, devenu classique, d'une semblable machine. C'est l'air atmosphérique qu'il y emploie pour développer la puissance motrice par la suite des opérations qui vont être décrites :

1° L'air, enfermé dans un vaisseau cylindrique muni d'un diaphragme mobile ou piston, est à la température de la source chaude, mais éloigné de tout contact avec un corps capable de lui fournir ou de lui enlever du calorique. Le piston s'élève rapidement ; l'air se raréfie et sa température s'abaisse. Imaginons qu'elle s'abaisse jusqu'à devenir égale à celle de la source froide.

2° L'air est mis en contact avec la source froide ; il est comprimé par le retour du piston. Cet air reste cependant à une température constante à cause de son contact avec la source froide à laquelle il cède une quantité Q_0 de son calorique.

3° La source froide est écartée, et l'on continue la compression de l'air qui, se trouvant isolé, s'élève de température. La compression est continuée jusqu'à ce que l'air ait repris la température de la source chaude.

4° L'air est mis en contact avec la source chaude. Il occupe alors un certain volume inconnu qui peut être plus petit ou plus grand que son volume primitif. Il est, suivant le cas, dilaté ou comprimé par la marche du piston, et reste à une température constante jusqu'à ce qu'il soit revenu à son état initial sous le même volume, la même pression et la même température, après avoir emprunté à la source chaude une quantité Q_1 de chaleur qui sera positive ou négative suivant qu'il aura fallu le dilater ou le comprimer.

Toutes les opérations ci-dessus décrites peuvent être exécutées dans un ordre inverse. Le fluide gazeux a ainsi accompli un cycle fermé et réversible que l'on appelle le *cycle de Carnot*. Dans des périodes décrites sous les n°s 2 et 4, il a subi une transformation *isotherme* en échangeant, dans deux sens opposés, les quantités de chaleur Q_0 et Q_1 avec les deux sources. Dans les périodes intermédiaires, décrites sous les n°s 1 et 3, il a subi une transformation *adiabatique* qui a fait varier sa température dans les deux

sens opposés. L'air nous a donc servi de machine thermique, nous l'avons même employé de la manière la plus avantageuse possible, car il ne s'est fait aucun rétablissement inutile d'équilibre dans le calorique. Aussi devons-nous présumer que cette machine *produit* du travail. C'est, en effet, ce qui résulte de ce que la quantité Q_1, dont nous avons laissé le signe indéterminé, est positive et plus grande que la quantité Q_0.

Si Q_1 était négatif, la machine de Carnot verserait de la chaleur à la source chaude comme à la source froide. En la faisant fonctionner dans le sens rétrograde elle emprunterait de la chaleur aux deux sources ; et, en mettant ces sources en communication par conduction après une évolution de la machine, on pourrait ramener la plus froide à son état initial, la plus chaude ayant perdu, à elle seule, toute la chaleur consommée. On aurait ainsi réalisé une machine complexe, formée de la machine donnée et de la source froide, qui fonctionnerait avec la seule source chaude en lui empruntant de la chaleur, ce qui est impossible d'après le principe de Carnot.

Q_1 est donc positif, mais il est aussi plus grand que Q_0. Pour le démontrer, faisons encore marcher la machine dans le sens rétrograde, de façon à lui faire puiser à la source froide la quantité Q_0 de chaleur, tandis qu'elle verserait à la source chaude la quantité plus petite Q_1. Au bout d'une évolution de la machine, ramenons la source chaude à son état initial en lui faisant verser à la source froide la quantité Q_1 de chaleur qu'elle a reçue ; nous aurons ainsi réalisé une machine complexe, formée de la machine donnée et de la source chaude, fonctionnant avec une source unique, la source froide, laquelle aurait ainsi reçu la quantité $Q_1 - Q_0$ de chaleur. D'après le principe de Carnot, cette machine ne peut que céder de la chaleur à la source qui la fait fonctionner, et $Q_1 - Q_0$ est positif.

E. ARIÈS, *L'Œuvre scientifique de Sadi Carnot. Introduction à l'étude de la thermodynamique.* "Collection Payot." Paris: Payot.

LE CHAMP DE GRAVITATION ET L'UNIVERS RÉEL

Égalité de la masse pesante et de la masse inerte.— Le champ de gravitation possède une propriété extrême-

ment remarquable qui n'appartient pas aux champs électrique et magnétique. Alors que dans un même champ électrique des charges différentes prennent des accélérations différentes, dans un champ de gravitation l'accélération acquise par un corps ne dépend ni de l'état physique, ni même de la nature du corps. *Tous les corps, qu'ils soient lourds ou légers, tombent avec la même vitesse si les conditions initiales sont les mêmes. L'accélération est indépendante de la force qui s'exerce sur le corps* (indépendante de son poids).

Ce fait, si familier, est extraordinaire.

Pour les faibles vitesses, on a la loi du mouvement de Newton

$$\text{force} = \text{masse inerte} \times \text{accélération}$$

c'est-à-dire que la masse inerte (masse au repos) est une constante propre au corps accéléré.

Si la force est le poids, on a

$$\text{force} = \text{masse pesante} \times \text{intensité du champ}.$$

La masse pesante étant également une caractéristique du corps.

On a donc :

$$\text{accélération} = \frac{\text{masse pesante}}{\text{masse inerte}} \times \text{intensité du champ}.$$

Puisque l'expérience prouve que, dans un même champ de gravitation, l'accélération est indépendante du corps, le rapport $\frac{\text{masse pesante}}{\text{masse inerte}}$ est une constante pour tous les corps, et si l'on choisit les unités de façon que ce rapport soit égal à 1, la masse pesante est égale à la masse inerte.

Il y a longtemps que la mécanique a enregistré ce résultat, mais personne ne l'avait interprété. L'interprétation est celle-ci : la même qualité de la matière se manifeste, selon les circonstances, soit comme inertie, soit comme pesanteur : en termes plus précis : LA FORCE DE GRAVITATION EST UNE FORCE D'INERTIE.

Avec M. Einstein, imaginons une portion d'espace vide, si loin des étoiles et de toute matière qu'il n'y ait plus de champ de gravitation et que nous soyons dans le cas idéal où la loi galiléenne d'inertie est applicable. Il est alors possible, dans cette portion d'Univers, de choisir un système galiléen. Dans ce système supposons une chambre isolée

à l'intérieur de laquelle se trouve un observateur ; pour cet homme il n'y a pas de pesanteur, pas de direction privilégiée.

Supposons maintenant que, par un câble fixé à un crochet au milieu de la toiture de la chambre, un être extérieur se mette à tirer avec une force constante. Pour un observateur immobile dans le système galiléen, la chambre va prendre un mouvement uniformément accéléré et sa vitesse croîtra d'une façon fantastique. Mais toute autre sera l'opinion de l'homme enfermé dans la chambre ; l'accélération va projeter cet homme sur le plancher, pour lui il y aura un "haut" et un "bas" comme dans une chambre sur la terre ; il constatera que tous les objets tombent avec une même accélération ; sa première impression sera qu'il se trouve dans un champ de gravitation.

A la réflexion, il se demandera pourquoi il ne tombe pas en chute libre, ce qui ferait disparaître la pesanteur. Cherchant ce qui se passe, il découvrira le crochet et le câble tendu ; cette fois tout sera clair pour lui, il se dira : ma chambre est suspendue, *au repos*, dans un champ de gravitation.

Cet homme est-il dans l'erreur ? nullement : il a parfaitement le droit de considérer sa chambre comme immobile, bien qu'elle soit accélérée relativement à l'espace galiléen. On voit que la possibilité de cette interprétation repose sur la propriété fondamentale d'un champ de gravitation, de donner à tous les corps la même accélération, c'est-à-dire sur l'égalité de la masse pesante et de la masse inerte.

Le boulet de Jules Verne.—Au lieu d'imaginer que la chambre de l'observateur est loin de toute matière, supposons-la, au contraire, en chute libre (sans rotation) dans le champ de gravitation d'un astre. La pesanteur y sera supprimée puisque tous les objets seront soumis à la même accélération que la chambre en tombant avec elle. Pour l'observateur de la chambre, il n'y aura plus ni haut ni bas, et un mobile libre sera au repos ou animé d'un mouvement rectiligne et uniforme ; ce mobile se conformera à la loi de Galilée ; un système de référence lié à la chambre sera donc un système galiléen (bien que pour un observateur situé sur l'astre sur lequel tombe la chambre ce système soit accéléré) et l'homme de la chambre considérera l'Univers comme euclidien dans son voisinage.

Le principe d'équivalence.—Ainsi, d'une part l'emploi

d'un système de référence en mouvement accéléré dans un Univers euclidien équivaut à créer un certain champ de gravitation dans lequel ce système pourra être considéré comme immobile ; d'autre part, l'emploi d'un système de référence lié à un corps en chute libre dans un champ de gravitation revient à supprimer ce champ. En tout point d'espace il est donc impossible de se prononcer entre les deux hypothèses suivantes : 1° il existe un état de mouvement accéléré sans champ de gravitation ; 2° le système est au repos mais il y règne un champ de gravitation s'exerçant sur toute portion d'énergie.

En un mot il est impossible de distinguer un champ de force d'inertie dû à un état de mouvement et un champ de gravitation. Il y a *équivalence,* selon l'expression d'Einstein, qui appelle champ de gravitation tout champ de force, que ce champ soit dû à un état de mouvement du système de référence ou au voisinage de masses matérielles.

JEAN BECQUEREL, *Exposé élémentaire de la théorie d'Einstein et de sa généralisation suivi d'un appendice à l'usage des mathématiciens.* „Collection Payot." Paris : Payot.

ELECTRODYNAMIQUE

La théorie de Helmholtz est un progrès sur celle d'Ampère ; il s'en faut cependant que toutes les difficultés soient aplanies. Dans l'une comme dans l'autre, le mot de champ magnétique n'a pas de sens, ou, si on lui en donne un par une convention plus ou moins artificielle, les lois ordinaires, si familières à tous les électriciens, ne s'appliquent plus ; c'est ainsi que la force électromotrice induite dans un fil n'est plus mesurée par le nombre des lignes de force rencontrées par ce fil.

Et nos répugnances ne proviennent pas seulement de ce qu'il est difficile de renoncer à des habitudes invétérées de langage et de pensée. Il y a quelque chose de plus. Si nous ne croyons pas aux actions à distance, il faut expliquer les phénomènes électrodynamiques par une modification du milieu. C'est précisément cette modification que l'on appelle champ magnétique, et alors les effets électrodynamiques ne devraient dépendre que de ce champ.

Toutes les difficultés proviennent de l'hypothèse des courants ouverts.

Théorie de Maxwell.—Telles étaient les difficultés soulevées par les théories régnantes quand parut Maxwell, qui, d'un trait de plume, les fit toutes disparaître. Dans ses idées, en effet, il n'y a plus que des courants fermés.

Maxwell admet que, si, dans un diélectrique, le champ électrique vient à varier, ce diélectrique devient le siège d'un phénomène particulier agissant sur le galvanomètre comme un courant et qu'il appelle *courant de déplacement*.

Si alors deux conducteurs portant des charges contraires sont mis en communication par un fil, il règne dans ce fil pendant la décharge un courant de conduction ouvert ; mais il se produit en même temps, dans le diélectrique ambiant, des courants de déplacement qui ferment ce courant de conduction.

On sait que la théorie de Maxwell conduit à l'explication des phénomènes optiques, qui seraient dus à des oscillations électriques extrêmement rapides.

A cette époque une pareille conception n'était qu'une hypothèse hardie qui ne pouvait s'appuyer d'aucune expérience.

Au bout de vingt ans, les idées de Maxwell reçurent la confirmation de l'expérience. Hertz parvint à produire des systèmes d'oscillations électriques qui reproduisent toutes les propriétés de la lumière et n'en diffèrent que par la longueur d'onde, c'est-à-dire comme le violet diffère du rouge. Il fit en quelque sorte la synthèse de la lumière.

On pourrait dire que Hertz n'a pas démontré directement l'idée fondamentale de Maxwell, l'action du courant de déplacement sur le galvanomètre. C'est vrai dans un sens, et ce qu'il a montré directement, en somme, c'est que l'induction électromagnétique ne se propage pas instantanément comme on le croyait, mais avec la vitesse de la lumière.

Seulement, supposer qu'il n'y a pas de courant de déplacement et que l'induction se propage avec la vitesse de la lumière ; ou bien, supposer que les courants de déplacement produisent des effets d'induction et que l'induction se propage instantanément, *cela est la même chose*.

C'est ce qu'on ne voit pas au premier abord, mais ce que l'on démontre par une analyse que je ne puis même songer à résumer ici.

H. Poincaré, *La science et l'hypothèse.* Paris : Ernest Flammarion.

L'Hypothèse des quanta

Je n'ai pas encore terminé l'étude de l'échange par rayonnement, et je ne sais pas encore si l'on connaît toutes les conditions d'équilibre auxquelles conduit ce mode d'échange ; je ne serais pas étonné qu'on en découvrît de nouvelles qui pourraient nous causer quelques embarras.

Pour le moment, il y en a une que nous ont révélée les travaux de M. Wien ; c'est ce qu'on appelle la loi de Wien d'après laquelle le produit de l'énergie du rayonnement par la cinquième puissance de la longueur d'onde ne dépend plus que de la température multipliée par la longueur d'onde.

On voit tout de suite que, pour que cette loi de Wien soit compatible avec l'équilibre statistique dû à l'échange par chocs, il faut que, dans cet échange par chocs, l'énergie ne puisse varier que par quanta *inversement proportionnels à la longueur d'onde.* C'est là une propriété *mécanique* des résonateurs, qui est évidemment tout à fait indépendante du principe de Döppler-Fizeau et on ne comprend pas bien par suite de quelle mystérieuse harmonie préétablie, ces résonateurs ont été doués de la seule propriété mécanique qui pouvait convenir. Si l'équilibre statistique est invariable, ce n'est plus pour une raison unique et universelle, c'est par le concours de circonstances multiples et indépendantes.

Dans le mode d'expression de M. Planck, cette dualité des modes d'échange n'apparaît pas, mais elle n'est que dissimulée et je croyais nécessaire d'attirer l'attention sur ce point.

Cette difficulté n'est pas la seule ; un résonateur ne peut céder d'énergie à un autre que par multiples entiers de son quantum ; celui-ci ne peut en recevoir que par multiples entiers de son quantum à lui ; comme ces deux quanta seront généralement incommensurables, cela suffit pour exclure la possibilité d'un échange direct, mais l'échange peut se faire par l'intermédiaire des atomes, à supposer que l'énergie de ces atomes puisse varier d'une manière continue.

Ce n'est pas là le plus grave ; les résonateurs doivent perdre ou gagner chaque quantum *brusquement* ou plutôt il faut qu'ils gagnent leur quantum tout entier ou qu'ils ne gagnent rien. Mais il leur faut cependant un certain temps pour le gagner ou pour le perdre ; c'est ce qu'exige le phénomène des interférences. Deux quanta émis par un

même résonateur à des instants différents ne sauraient interférer entre eux. Les deux émissions devraient en effet être regardées comme deux phénomènes indépendants et il n'y aurait aucune raison pour que l'intervalle de temps qui les sépare fût constant. Cela est même impossible ; cet intervalle doit être plus grand si la lumière est faible que si elle est intense ; à moins que l'on ne suppose que l'intervalle est constant, que chaque émission peut consister en plusieurs quanta et que l'intensité dépend du nombre des quanta émis à la fois. Mais cela non plus ne peut aller ; l'intervalle doit être petit par rapport à une période pour cadrer avec les observations d'interférence ; la valeur du quantum résulte de la formule même de Planck ; nous aurions donc un minimum de l'intensité possible de la lumière, et on a observé des émissions de lumières inférieures à ce minimum.

C'est donc bien chaque quantum qui interfère avec lui-même ; il est donc nécessaire que, mis une fois sous la forme de vibrations lumineuses de l'éther, il se divise en plusieurs parties, que certaines parties soient en retard sur les autres de plusieurs longueurs d'onde et par conséquent qu'elles n'aient pas été émises en même temps.

Il semble qu'il y ait là une contradiction ; peut-être n'est-elle pas insoluble. Imaginons un système formé d'un certain nombre d'excitateurs de Hertz, tous identiques ; chacun d'eux est chargé par une source d'électricité et dès que sa charge a atteint une certaine valeur, l'étincelle éclate, l'émission commence et rien désormais ne peut plus l'arrêter, jusqu'à ce que l'excitateur soit entièrement déchargé ; il faut donc qu'il perde son quantum tout entier, ou qu'il ne perde rien (le quantum c'est ici la quantité d'énergie qui correspond au potentiel explosif). Mais ce quantum n'est pas perdu brusquement, chaque émission dure un certain temps et les ondes émises sont susceptibles d'interférences régulières.

HENRI POINCARÉ, *Dernières pensées.* Paris : Ernest Flammarion.

LA DÉCHARGE ÉLECTRIQUE DANS LES GAZ

Décharge par arc.—Si on diminue la résistance en série avec la décharge de manière à augmenter l'intensité du courant, on peut atteindre un point où l'intensité du courant croît

si brusquement tandis que la tension entre les électrodes diminue qu'il semble y avoir une véritable discontinuité dans l'allure du phénomène ; on dit communément qu'un arc s'est amorcé entre les électrodes.

La décharge présente alors l'aspect suivant : une région très brillante à la surface de la cathode surmontée d'une espèce d'aigrette lumineuse, puis la colonne lumineuse positive et enfin une couche très lumineuse à la surface de l'anode.

On admet que ce changement correspond au moment où la cathode est portée à une température assez élevée pour émettre des électrons en abondance. Toutes les expériences faites confirment en effet que la température de la cathode dans l'arc est extrêmement élevée. Si on l'empêche de prendre cette température élevée, l'arc ne s'allume pas ou ne se maintient pas. C'est ainsi qu'on ne peut pas le faire jaillir d'une cathode tournant de façon à être constamment refroidie ni d'une cathode formée par un électrolyte de température basse comme le sulfate de zinc.

M. Blondel a vu le premier ce rôle fondamental de la cathode.

La théorie a été développée ensuite par Stark. Child proposait au contraire d'admettre que dans le cas de l'arc comme dans celui du tube de Gessler les électrons sont arrachés par le choc des ions positifs, mais que cette opération demande une moins grande dépense d'énergie quand la cathode est chaude que si elle est froide.

Quelle est la cause qui maintient la cathode à haute température ? C'est le choc des ions positifs.

Ces ions positifs ne viennent pas de l'anode, car l'arc peut être maintenu avec une anode froide qui n'en émet certainement pas.

Ils sont donc produits par ionisation dans le gaz.

MAURICE LEBLANC fils, *L'arc électrique*. Paris : Les Presses Universitaires de France.

SYMÉTRIE CARACTÉRISTIQUE D'UN PHÉNOMÈNE

I.—Définitions. Remarques de Curie

La symétrie caractéristique d'un phénomène est la symétrie d'ordre le plus élevé compatible avec l'existence de ce phénomène. Un phénomène donné ne peut exister que dans un milieu qui possède sa symétrie caractéristique S ou celle

d'un des intergroupes de S, c'est-à-dire une symétrie inférieure à S.

Voici quelques propositions générales énoncées par Curie, et qui sont de toute première importance.

„ *Quand certaines causes produisent certains effets, les éléments de symétrie des causes se retrouvent dans les effets.*

„ *Quand certains effets révèlent une certaine dissymétrie, les éléments de symétrie qui manquent manquent aussi dans les causes.*

„ *Mais l'inverse n'est pas nécessairement vrai ; les effets peuvent être plus symétriques que les causes ; certaines causes de dissymétrie peuvent ne produire aucun effet.*"

II.—Symétrie du champ électrostatique

Le champ électrostatique, en un point de l'espace, a la symétrie d'un vecteur polaire (symétrie d'un tronc de cône), comme une force.

Envisageons deux cas, où le champ électrostatique sera d'abord *effet*, puis *cause*.

1.—Considérons, par exemple, un plateau de zinc et un plateau de cuivre parellèles, mis en communication par un fil conducteur ; un champ électrostatique uniforme existe entre les deux plateaux. Le système ainsi obtenu admet un axe de révolution *non doublé* et une infinité de plans de symétrie passant par cet axe ; *l'effet* produit (c'est-à-dire le champ électrostatique) doit donc admettre au moins ces éléments de symétrie.

2.—Considérons maintenant une sphère électrisée placée dans un champ électrostatique uniforme H ; elle est soumise à une *force* F ; *l'effet produit par le champ électrostatique* étant dissymétrique, la cause (champ électrostatique) l'est aussi.

Le système : sphère et force F ayant la symétrie du tronc de cône, il en résulte qu'un champ électrostatique a au plus les éléments de symétrie du tronc de cône.

En combinant ce résultat et le précédent, on voit qu'un champ électrostatique a la symétrie d'un tronc de cône ; on peut donc le représenter par une flèche, comme une force.

Symétrie du courant électrique.—C'est la même que celle du champ électrostatique, car un champ électrostatique peut être considéré comme la cause ou comme l'effet d'un courant.

Symétrie de la polarisation des diélectriques.—C'est encore la même (toujours même raisonnement). Prenons un cristal de tourmaline ; il présente un axe ternaire non doublé et trois plans de symétrie passant par cet axe (A^3 ; 3P), cette symétrie est un intergroupe de celle du tronc de cône (toutes les opérations de symétrie que l'axe ternaire de la tourmaline peut faire, l'axe de révolution du cône peut les faire). Il en résulte que la tourmaline *pourra* (mais ce n'est pas une conséquence forcée) présenter naturellement les phénomènes de polarisation diélectrique. On sait en effet que *la tourmaline uniformément chauffée ou refroidie* (ce qui ne change pas ses éléments de symétrie) *est pyro-électrique* et que, comprimée suivant son axe ternaire (même remarque), elle est piézo-électrique.

Phénomène de Kerr (biréfringence des diélectriques).—Plaçons un diélectrique comme le sulfure de carbone dans un champ électrostatique ; le système présente la symétrie du tronc de cône ; la biréfringence d'un cristal uniaxe qui aurait son axe optique parallèle à la direction du champ présenterait la symétrie cylindrique ou un intergroupe de cette symétrie. Il en résulte que le diélectrique *pourra* (mais ce n'est pas une conséquence forcée) se conduire comme un tel cristal. C'est en effet ce que l'expérience vérifie.

H. Ollivier, *Cours de physique générale.* Tome premier. Paris : Libraire scientifique, A. Hermann et Fils.

La théorie des quanta

Il semble intéressant de reprendre l'étude des lois du rayonnement thermique. On sait, en effet, que ce fut là le berceau de la théorie des quanta. Il y a plus de vingt ans que Planck présentait une formule curieuse, qui interprétait très fidèlement les courbes expérimentales de l'émission du *corps noir.* Cette formule nécessitait, pour sa justification théorique, un postulat tout à fait inattendu : dans les phénomènes d'émission ou d'absorption de radiations de fréquence ν, les échanges d'énergie portent toujours sur une quantité finie, de grandeur $h\nu$. Ces *quanta* $h\nu$, comme les nomma Planck, firent l'objet de critiques passionnées. L'idée nouvelle rencontrait des adversaires résolus ; elle était en opposition avec la mécanique classique, où l'emploi des équations différentielles est basé sur l'hypothèse d'une

divisibilité indéfinie de l'énergie. Les premiers raisonnements de Planck présentaient, d'ailleurs, quelques obscurités et les discussions durèrent jusqu'en 1914.[1] Ces controverses n'amenèrent aucune lumière nouvelle, ou fort peu. Il apparaissait nettement que la notion de *quanta* était absolument indispensable pour expliquer la formule de Planck pour le corps noir ; la mécanique classique aboutissait à la loi de Rayleigh, loi en contradiction complète avec l'expérience. Mais le sens de ces „ grains d'énergie " ne se précisait guère, et leur intervention restait une énigme inexplicable.

Einstein remarqua que les expériences de photo-électricité mettaient en jeu le quantum $h\nu$ et cette hypothèse se montrait aussitôt très féconde. De cette relation et de quelques autres pressenties à cette époque, on pouvait déjà prévoir que le *quantum* était une des données primordiales de la structure atomique, et jouait le rôle principal dans l'équilibre des édifices de noyaux positifs et d'électrons, qui constituent les atomes. J.-J. Thomson essayait, au moyen d'un modèle d'atome assez particulier, d'interpréter la relation des quanta, mais sans grand succès ; les hypothèses hardies introduites par N. Bohr montrèrent, au contraire, qu'au lieu d'expliquer les quanta par un modèle d'atome, il fallait rebâtir l'atome en le basant sur des conditions de quanta.

Bohr interprète sans difficulté les raies spectrales de la série de Balmer pour l'hydrogène et des séries analogues pour les autres éléments. Pour se rendre compte de l'importance de ce résultat, il faut se rappeler que les lois des spectres de série se présentent sous un aspect étrange, car la fréquence ν y est l'élément simple ; au contraire tous les modèles mécaniques imaginables conduisant à des relations simples portant sur ν^2 ; cette énigme n'avait pu être résolue, malgré l'ingéniosité et la finesse pénétrante d'un Ritz. Dans la théorie de Bohr, la série de Balmer se calcule avec une aisance impressionnante, et le coefficient numérique de Rydberg se déduit directement de la charge électrique et de la masse de l'électron, ainsi que de la constante h de Planck.

LÉON BRILLOUIN, *La théorie des quanta et l'atome de Bohr.* Paris : Les Presses Universitaires de France.

[1] On trouvera fidèlement resumées les opinions de cette période dans les comptes rendus des deux premiers congrès Solvay à Bruxelles.

Théorie de Bohr

1. **Suite naturelle des éléments.**—Les phénomènes de rayons X sont presque exclusivement atomiques, c'est-à-dire qu'ils font seulement entrer en ligne de compte la nature des éléments chimiques présents dans la matière, au sein de laquelle se produisent les actions du rayonnement, sans faire intervenir, au moins en première approximation, leurs liaisons chimiques ou leur état physique. Il y a donc lieu de commencer par dire quelques mots de l'ensemble des corps simples.

On sait que ces derniers ont pu être classés par ordre de poids atomiques croissants suivant une classification connue sous le nom de table de Mendéléeff, ou table périodique des éléments. Des considérations, développées surtout par Rydberg et van den Broek, ont conduit à regarder comme la véritable variable, dont les propriétés du corps seront fonction, un nombre entier N ; le nombre atomique, ou mieux numéro atomique N représente le rang du corps dans la suite naturelle et mesure aussi le nombre de charges élémentaires positives, que possède le noyau de l'atome.

La grande loi naturelle découverte par Moseley, en apportant un moyen précis d'attribuer, sans hésitation, à chaque élément, le nombre atomique qui lui convient, a donné à la notion introduite par van den Broek une base très solide et lui assigne un rôle fondamental.

2. **Niveaux, fréquences critiques.**—La théorie de Bohr envisage l'atome d'un élément de nombre atomique N (c'est-à-dire de rang N dans la suite naturelle des corps simples) comme constitué par un noyau possédant au total une charge positive égale à $+ Ne$, environné d'un cortège de N électrons répartis d'une certaine façon autour de lui.

Nous retiendrons surtout des idées de Bohr la conception que ces N électrons peuvent être divisés en plusieurs catégories, caractérisées par le travail que l'on doit dépenser pour extraire de l'atome un électron d'une catégorie déterminée.

Que l'on considère les électrons d'une certaine catégorie comme répartis sur une couche, un niveau, ou circulant sur un groupe d'orbites, cela importe peu pour le but que nous nous proposons, l'essentiel est qu'à chaque catégorie soit attaché un travail d'extraction défini. Dans la suite on emploiera de préférence le mot niveau.

L'usage s'est établi de désigner par les lettres K, L, M,

etc., les niveaux successifs comptés à partir des noyaux, et, quand il y aura lieu de faire appel à une sorte de structure fine d'un niveau, de désigner par les lettres L_1, L_2, L_3... M_1, M_2, M_3... les niveaux voisins appartenant à une même couche. Les travaux d'extraction W_K, W_L, W_M caractérisant chaque niveau iront évidemment en décroissant dans le sens K, L, M,... puisqu'il s'agit de séparer deux charges de signes contraires à partir de positions initiales qui sont d'autant plus rapprochées que le niveau considéré est plus voisin du centre.

La théorie des quanta nous a habitués à faire correspondre une fréquence à une énergie en écrivant que cette énergie est égale à cette fréquence multipliée par la constante h de Planck. On peut donc définir, pour chaque niveau, une fréquence ν reliée aux travaux d'extraction W par les relations

$$\nu = \frac{W}{h} \qquad \nu_L = \frac{W_1}{h}...$$

Ceci posé, il convient de rappeler que les hypothèses fondamentales de la théorie de Bohr sont les suivantes : une ligne spectrale est émise par un atome quand un électron passe d'un certain niveau à un autre niveau plus rapproché du noyau, par exemple du niveau M au niveau K, et cette ligne spectrale (qui est d'ailleurs émise avec une énergie h_ν) possède une fréquence ν définie par :

$$\nu = \nu_K - \nu_M.$$

Inversement le transport d'un électron d'un niveau sur un niveau moins central, par exemple de K à M, correspondrait à l'absorption d'une fréquence déterminée ; mais, comme on le verra plus loin, cela ne paraît pas, en général, se réaliser pour les rayons X. Quand un électron est pris sur un niveau il semble presque toujours être complètement extrait de l'atome ; ce qui correspond, dans le cas où le niveau primitif serait, par exemple, le niveau L, au transport d'un électron de ce niveau à l'infini avec absorption d'une fréquence qui serait

$$\nu_L - \nu_\infty$$

ou simplement

$$\nu_L$$

puisque

$$\nu_\infty = \frac{W_\infty}{h} = 0.$$

C'est seulement en absorbant une fréquence au moins égale à ν_L que l'électron de l'anneau L pourra être extrait de l'atome, on pourra donc parler de cette fréquence ν_L comme étant une fréquence critique d'absorption, ou bien la fréquence d'une discontinuité d'absorption correspondant au niveau L.

Répartition des électrons entre les niveaux.—Les N électrons de l'atome de nombre atomique N sont considérés comme distribués sur les niveaux de Bohr de cet atome ; comment cette répartition a-t-elle lieu ?

Il y a des raisons de penser que chaque fois qu'en suivant l'ordre croissant de N, c'est-à-dire la série naturelle des éléments, on passe par un gaz rare, il se forme une nouvelle couche qui se garnit successivement d'électrons, le nombre de couches effectivement chargées d'électrons est donc égal au nombre de gaz rares rencontrés en faisant varier le nombre atomique de 1 à N.

MAURICE DE BROGLIE, *Les Rayons X*. Paris : Les Presses Universitaires de France.

DIFFUSIONS DES RAYONS X PAR LA MATIÈRE

Tous les progrès réalisés par la physique des rayons X dans ces dernières années sont la conséquence des phénomènes de diffraction que ces radiations éprouvent en traversant des milieux cristallisés, et cette action elle-même se rattache à la diffusion sans changement de longueur d'onde, dont les rayons X sont l'objet lorsqu'ils frappent des atomes.

La théorie électromagnétique considère la diffusion de la lumière par la matière au point de vue suivant : le champ électromagnétique de l'onde agit sur les électrons de l'atome pour leur communiquer des vibrations forcées de même période et de même phase que la radiation incidente et ces électrons vibrants deviennent ainsi de petits oscillateurs, qui fonctionnent comme de nouvelles sources de rayonnement.

Avant d'étudier plus en détail les conséquences d'un tel mécanisme, nous allons rappeler brièvement les traits principaux de la diffraction des rayons X par les cristaux. On peut, en effet, traiter cette question en regardant simplement les atomes illuminés comme des centres de diffraction d'autant plus actifs qu'ils contiendront plus d'électrons, c'est-à-dire que leur masse atomique sera plus élevée.

Diffraction des rayons X par les cristaux.—Imaginons

un faisceau de rayons X monochromatiques tombant sur un milieu matériel et suivons le langage de la théorie électromagnétique classique, il y aura dans la portion de matière éclairée un certain nombre d'atomes dont les électrons, entrant en vibration forcée, deviendront de nouvelles sources de lumière de même fréquence que les rayons incidents. En un point éloigné P il faudra composer les vibrations provenant de tous ces atomes en tenant compte de leurs différences de phase et il en résultera un champ d'interférence absolument comme dans le cas de la lumière ordinaire ; on se trouve donc en présence d'un problème classique de diffraction.

Les résultats prendront une forme simple si la répartition des atomes dans la matière éclairée présente un caractère symétrique. Tout le monde admet que, dans les corps cristallisés, la matière est répartie d'une façon régulière par rapport à un triple système d'axe, formant un réseau à trois dimensions, suivant la conception fondamentale de Bravais. On supposera par exemple que les atomes sont placés aux nœuds de ce réseau.

Dès la découverte des rayons X, on fut amené à éclairer des cristaux par un faisceau du nouveau rayonnement pour chercher si l'on ne retrouverait pas les propriétés de double refraction et de polarisation qui se présentent pour les rayons lumineux et on ne put alors constater qu'un simple affaiblissement du faisceau, dont la direction ne paraissait aucunement changée. C'est parce que les sources de rayons X employées étaient trop faibles et probablement aussi les expérimentateurs trop peu patients, que les phénomènes fondamentaux découverts, plus de quinze ans après, par Laue, Friedrich et Knipping, ne furent pas alors mis en évidence.

En 1912, ces trois physiciens réalisèrent, à Munich, des expériences qui devaient modifier de fond en comble la physique des rayons X et servir de point de départ à toutes les questions que nous devons étudier. Si, comme le disait Henri Poincaré, la valeur d'une découverte doit se mesurer à la fécondité de ses conséquences, l'œuvre de Laue et de ses collaborateurs doit compter parmi les plus importantes de la physique moderne.

Laue calcula les phénomènes de diffraction d'une façon calquée sur celle de l'optique ordinaire ; mais Sir W. H. Bragg montra peu après que l'on pouvait retrouver les mêmes résultats d'une façon très intuitive et très directe.

Si l'on considère un réseau de Bravais, on peut distribuer les nœuds suivant un système de plans parallèles et équidistants qui portent le nom de plans réticulaires. Dans chaque plan réticulaire les nœuds sont au sommet d'un réseau de parallélogrammes.

Nous pouvons fixer notre attention d'abord sur les phénomènes de diffraction provenant d'un plan réticulaire, puis additionner les effets de tous les plans réticulaires parallèles au premier ; nous aurons bien ainsi fait intervenir tous les nœuds du réseau, qui agissent comme des centres de diffraction. La première partie de ce problème ne diffère pas de ce que l'on appelle, en optique, la diffraction par un réseau croisé (ou réseau à deux dimensions) ; et l'on sait que les résultats en sont les suivants :

Si un faisceau de lumière blanche tombe obliquement sur un réseau croisé du plan, une partie du faisceau est transmise et continue son chemin ; il y a dans un grand nombre de directions des phénomènes colorés formant des spectres de diffraction, mais une grande partie de l'énergie incidente se retrouve dans un faisceau réfléchi régulièrement ; celui-ci se compose de lumière blanche, parce que la différence de marche y est nulle pour toutes les longueurs d'onde. C'est ce rayon réfléchi régulièrement sur lequel nous allons raisonner. (Si les centres de diffraction, répartis dans le plan, étaient à des distances très petites par rapport à la longueur d'onde, l'énergie diffractée vers la face d'entrée des rayons se concentrerait de plus en plus dans le faisceau réfléchi, qui subsisterait seul, au cas limite des miroirs.)

Chaque plan réticulaire donne ainsi son rayon réfléchi ; il y a un très grand nombre de plans réticulaires parallèles et séparés par la même distance d ; quelle est la condition pour que tous les rayons réfléchis, provenant de ces plans, interfèrent avec des différences de marche correspondant à un nombre entier de longueurs d'onde ? On trouve facilement que cette condition est exprimée par

$$n\lambda = 2d \sin \theta, \qquad (1)$$

λ étant la longueur d'onde, n un nombre entier, d l'équidistance des plans et θ le complément de l'angle d'incidence ; ainsi le rayon réfléchi sur un réseau croisé à deux dimensions serait blanc ; sur une pile de tels réseaux il se réduit aux longueurs d'onde qui satisfont à la relation précédente.

Le réseau de Bravais peut être découpé d'une infinité de manières différentes en système de plans réticulaires ; mais il est certains de ces plans pour lesquels la densité des nœuds est particulièrement grande, ce sont les faces de clivage du cristal ; on comprend facilement que les plans les plus denses agissent le plus énergiquement et que le principal du phénomène puisse s'obtenir en ne considérant que ceux-là. Le milieu cristallin se conduira donc, au point de vue qui nous occupe, comme un assemblage de miroirs diversement inclinés les uns par rapport aux autres et parallèles aux faces les plus importantes de la forme cristalline ; mais chacun de ces miroirs, caractérisé par une certaine équidistance d (différente en général de celle qui convient pour les autres miroirs) ne donnera de rayons réfléchis que pour les longueurs d'onde satisfaisant à la relation

$$n\lambda = 2d \sin \theta.$$

Un pinceau circulaire de lumière complexe traversant un cristal donnera donc un certain nombre de pinceaux de rayons réfléchis sur les faces de clivage du cristal ; chacun de ces pinceaux conforme à la relation 1, correspondra à une famille de longueurs d'onde définies par cette équation.
Ibidem.

LA TECHNIQUE DES RAYONS X

Généralités.—L'émission des rayons X n'est qu'un cas particulier d'une transformation énergétique jouant un rôle essentiel dans l'univers, à savoir l'irradiation de tout ou partie de l'énergie cinétique d'un électron en mouvement sous forme de „ quanta " de rayonnement électromagnétique caractérisés par une même vitesse de propagation dans le vide et une périodicité variable. Il en résulte que le domaine spectrale des rayons X n'est pas bien défini du côté des basses fréquences (domaine de l'optique), et l'on ne sait trop où finissent les rayons ultra-violets ni où commencent les rayons X. Si l'on considère les rayons caractéristiques, on peut dire que toutes les manifestations spectrales dues aux électrons superficiels des éléments chimiques appartiennent au domaine de l'optique, et que toutes celles qui intéressent la couche électronique sous-jacente sont déjà du domaine des rayons X. Mais si l'on envisage l'excitation

des rayons non caractéristiques—du spectre continu de rayons X—la démarcation n'est plus nette, car on ignore quel est le mécanisme intra-atomique intime de la transformation. Il faut alors fixer une limite arbitraire au domaine optique et l'on peut choisir celle précédemment définie qui, pour les éléments le plus électropositifs, correspond à environ une dizaine de volts.

Du côté des hautes fréquences, on ne saurait imaginer d'autre limite au spectre continu de rayons X que celle qui nous est pratiquement imposée par les possibilités de l'électrotechnique.

Les rayons X se produisent naturellement par agitation thermique des électrons et l'on peut imaginer que le spectre du rayonnement thermique du „ radiateur intégral" se prolonge indéfiniment du côté des hautes fréquences. Ce ne serait cependant que pour des températures extrêmement élevées, encore irréalisables dans nos laboratoires,—même par les procédés d'explosion de fils fins—que cette radiation deviendrait sensible, mais elle joue certainement un très grand rôle dans les phénomènes stellaires.

Le seul moyen actuellement connu de production des rayons X consiste à communiquer, au moyen d'un champ électrique, une certaine quantité d'énergie, sous forme cinétique, à des électrons et à arrêter ensuite ceux-ci dans la matière. Les seuls électrons, naturellement animés d'une grande vitesse, que l'on connaisse—c'est-à-dire les rayons β—ne sauraient servir à cet usage, car les sources radioactives sont de trop faible puissance. Leur emploi aurait l'immense avantage de ne nécessiter ni tube à vide ni champ électrique et permettrait la production de radiations de très hautes fréquences qui ne seront excitables qu'avec les plus grandes difficultés par les moyens habituels.

Ce champ électrique intense ne peut être créé que dans le vide. La décharge disruptive dans un diélectrique produit bien des rayons X, connus sous le nom d' „ Entladungstrahlen," mais ceux-ci ne peuvent dépasser des longueurs d'onde plus courtes que quelques dizaines d'Angströms par suite du libre parcours très réduit de l'électron dans l'étincelle à la pression atmosphérique. Il en est de même pour les conducteurs très résistants soumis à un champ élevé qui donnent lieu à une émission de rayons de grandes longueurs d'onde. Il est donc nécessaire d'opérer dans un gaz assez

raréfié pour que le champ puisse être maintenu sans une dépense d'énergie anormale. Une seule électrode isolée, disposée dans une enceinte étanche, suffit donc à constituer un tube à rayons X : c'est la cathode qui sera la source d'électrons et qui sera portée, par rapport à l'enceinte, à un potentiel négatif plus ou moins élevé.

Cette enceinte peut être de nature absolument quelconque pourvu que l'on puisse y entretenir ou y conserver une pression suffisamment basse. Elle est généralement de verre, quelquefois de quartz ou de métal.

La source cathodique d'électrons est l'électrode fondamentale qui caractérise le tube à rayons X. Les rayons cathodiques ont d'abord été produits par l'impact d'ions positifs, comme dans le tube de Crookes. Ils sont aujourd'hui libérés par effet thermique. L'effet photoélectrique ne saurait être utilisé par suite de son faible rendement. On a aussi construit récemment des tubes techniques munis d'une cathode formée d'une électrode pointue disposée dans un vide très élevé. Les électrons sont alors extraits du métal par le champ, à partir d'une certaine valeur critique, par suite de la valeur très élevée de la tension électrostatique à l'extrémité de la pointe. Cette décharge n'est pas accompagnée d'étincelle. Les étincelles employées par Millikan dans son étude du spectre ultra-violet extrême constituent aussi une source intense de rayons X, comme Wood l'avait déjà signalé pour de plus hautes pressions. Il s'agit, comme on le sait, de décharges de condensateurs portés à 100 et 200 kilovolts, entre deux électrodes très voisines (distantes de quelques dixièmes de millimètre à quelques millimètres) disposées dans un vide aussi élevé que possible (10^{-3} barye). Cette nouvelle sorte de potentiels explosifs [1] est susceptible de produire des rayons X de courtes longueurs d'onde, car la quantité de matière vaporisée dans le trajet de l'étincelle demeure faible et les électrons peuvent y acquérir des vitesses élevées.[2]

A. DAUVILLIER, *La technique des rayons X.* Paris: Les Presses Universitaires de France.

[1] D'après Hayden, *Journ. Am. Inst. Elec. Eng.*, t. 61, p. 852 (nov. 1922), la rigidité diélectrique du meilleur vide actuellement réalisable est, pour un éclateur à sphères, de 1.235 kv. cm.

[2] Il serait du plus grand intérêt d'analyser au spectrographe le rayonnement X ainsi produit (séries L d'atomes lourds par exemple). On y trouverait probablement plusieurs raies de haute fréquence, têtes de séries, *renversées*.

QUELQUES PRÉCISIONS SUR LES PROPRIÉTÉS DU TUBE COOLIDGE

Fixité du point d'impact.—Dans les tubes ordinaires, le point d'impact sur l'anticathode subit des déplacements fréquents, souvent imperceptibles à l'œil, mais néanmoins suffisants pour diminuer la netteté des images radiographiques. Ces mouvements peuvent s'expliquer par une action des ions positifs modifiant constamment la charge statique sur les parois de l'ampoule. Pendant le pompage du tube Coolidge, on voit la mobilité du point d'impact diminuer à mesure que les électrodes et les parois de l'ampoule perdent leurs gaz et finir par cesser complètement.

Absence de fluorescence des parois de l'ampoule.—Une particularité curieuse du tube Coolidge est que la paroi de l'ampoule ne devient pas fluorescente pendant le fonctionnement. Si ce n'était parfois l'incandescence de l'anticathode, rien ne signalerait à la vue son activité.

La fluorescence du verre, sur l'hémisphère située en avant de l'anticathode dans les tubes ordinaires, s'explique par un bombardement de la paroi par des rayons cathodiques secondaires issus de l'anticathode, Dans le tube Coolidge on peut admettre que la surface intérieure de la paroi acquiert et conserve une forte charge négative, contrairement à ce qui se passe dans les tubes ordinaires où cette charge serait constamment détruite par les ions positifs. L'existence de cette charge négative dans le tube Coolidge empêcherait l'arrivée jusqu'au verre des rayons cathodiques secondaires.

Plusieurs autres explications peuvent être proposées, mais il ne semble pas qu'elles doivent être retenues.

On pourrait penser, par exemple, que la fluorescence existe et qu'on ne la voit pas à cause de l'éclairement produit par le filament. Or, même avec le filament et l'anticathode aux plus hautes températures possibles, la fluorescence se manifeste encore dès qu'on libère un peu de gaz.

Cette absence de fluorescence de l'ampoule Coolidge présente des avantages appréciables : elle évite l'émission par la paroi de rayons X parasites, ainsi que l'échauffement du verre par bombardement qui intervient habituellement pour limiter le maximum de puissance que peuvent supporter les tubes ordinaires.

Le fonctionnement du tube n'échauffe pas la cathode.—Grâce à son vide très poussé et à ses matériaux expurgés de gaz, le tube Coolidge ne manifeste, pendant son fonctionnement, aucun bombardement de la cathode. Un voltmètre et un ampèremètre disposés sur le circuit du filament ne signalent en effet aucune variation, même quand le tube fonctionne à grande intensité. Or un bombardement de la cathode par les ions positifs en quantité notable ferait augmenter la température et, par suite, augmenterait la résistance du filament.

Si ce bombardement était intense et localisé, il pourrait même produire une désagrégation du filament. De tels phénomènes ont été observés quelquefois pendant la fabrication, mais seulement dans des cas où quelque fausse manœuvre cause le „ mollissement " accidentel du tube ; la fluorescence du ballon indique d'ailleurs immédiatement la présence de gaz.

Nous devons signaler néanmoins que ces observations ne signifient pas que la cathode ne chauffe nullement. Il y a lieu de considérer qu'à l'intérieur de la pièce de centrage fonctionne un filament qui, par radiation, peut porter les pièces environnantes à une température élevée. Nous attirons l'attention de nos lecteurs sur ce fait, car, aussitôt l'arrêt d'un tube Coolidge, on remarque quelquefois que la pièce de centrage est au rouge sombre.

Le tube peut sélectionner lui-même son courant.—Dans le cas de l'alimentation d'un tube ordinaire par une bobine, l'emploi de soupapes est indispensable pour absorber l'onde de fermeture : „ onde inverse " ; le tube, seul en circuit, serait soumis à l'onde de fermeture comme à l'onde de rupture. On connaît l'effet pernicieux de l'onde inverse pour les tubes à rayons X ordinaires dont la conductibilité n'est pas dissymétrique, puisqu'elle dépend des gaz contenus dans l'ampoule. Pour un tube Coolidge, le filament n'émet que des électrons et, par conséquent, le courant ne passe que si le filament est cathode. Le tube peut donc sélectionner lui-même le courant et les soupapes ne sont plus nécessaires.

Mais ce phénomène ne peut se produire que si l'anticathode n'est pas portée à une température telle qu'elle émette elle-même des électrons. Les tubes Coolidge peuvent donc sélectionner eux-mêmes leur courant si la puissance appliquée est inférieure à celle susceptible de porter au rouge l'anticathode.

H. Pilon, *Le tube Coolidge.* Paris : Masson et Cie.

Résultats de la télégraphie par étincelles

Disposant d'un révélateur d'ondes électriques suffisamment sensible, la télégraphie sans fil a trouvé, à ses débuts, dans les étincelles de décharges de condensateurs, des sources d'oscillations périodiques de haute fréquence et l'emploi de ces étincelles a conduit à la réalisation d'un procédé de communication entre deux postes qui n'ont entre eux aucune liaison apparente. Le développement de la télégraphie par étincelles, ou par *ondes intermittentes* plus ou moins *amorties*, a présenté trois étapes dans son organisation.

La première étape, à excitation directe, offre une installation fort simple, avec ses deux antennes verticales, dont l'une comprend l'éclateur et l'autre le contact imparfait. Vu la faible capacité électrique du conducteur déchargé, la portée est médiocre comme l'énergie dépensée. La longueur d'ondulation est unique et connue aisément, mais un trop fort amortissement s'oppose à toute résonance, alors même que les deux postes ont été accordés. En définitive, les divers groupes de postes ne restent pas indépendants les uns des autres.

Dans une *deuxième étape*, l'excitation est indirecte ; à l'émission, comme à la réception, une antenne est associée à un circuit fermé. Les antennes se sont étendues en hauteur et en surface ; la longueur d'onde a grandi ; la portée est devenue considérable, ainsi que l'énergie dépensée. Mais une liaison très accentuée de l'antenne d'émission et de son circuit d'excitation a imposé deux longueurs d'onde, entre lesquelles il faut choisir. La résonance reste fort incomplète, et, pour cette raison, les divers postes ne sont pas suffisamment indépendants. Les signaux parasites sont, comme dans la première étape, fort gênants.

La *troisième étape* apporte des avantages importants. L'excitation est encore indirecte, mais elle agit par choc sur l'antenne d'émission. On se trouve, alors, par des artifices bien étudiés, ramené à une onde d'émission unique et à une oscillation libre de l'antenne de réception, comme dans la première étape. L'amortissement est, cette fois, tres réduit dans chacune des antennes, et la résonance est notablement améliorée. L'emploi des étincelles musicales, surtout à sons aigus, rend moins importunes les décharges parasites.

En résumé, en augmentant graduellement, considérable-

ment, la puissance des décharges de condensateur à l'émission, en développant avec beaucoup d'ampleur la surface rayonnante et absorbante des antennes, on a réussi à franchir, sur la surface du globe, par télégraphie sans fil, directement, sans intermédiaire, de très grandes distances.

Cependant, de nouveaux progrès étaient encore attendus. Une *correspondance exclusive* entre deux postes n'était pas encore suffisamment obtenue. Même avec des étincelles agissant par choc, en excitation indirecte, un train d'oscillation de l'antenne d'émission s'amortissait encore trop vite pour établir une *résonance parfaite.* Afin que les appareils récepteurs ne soient pas impressionnés par des rayonnements provenant d'émissions à longueurs d'onde trop différentes, il était préférable qu'au lieu d'être mise en oscillations par saccades, l'antenne d'émission fût maintenue en *oscillations entretenues,* à amplitude constante, sans éclateur et sans étincelles.

On doit faire remarquer, qu'avec les ondes entretenues, l'énergie dépensée, étant uniformément répartie sur tout le temps du fonctionnement de la source, l'énergie consacrée à un signal est, à puissance moyenne égale, moindre qu'avec l'emploi d'éclatements d'étincelles.

La longueur d'onde restant alors entretenue et constante, on profitera de toutes les ressources que procure l'utilisation de la résonance, pour accorder d'une façon parfaite le circuit émetteur et le circuit récepteur.

ÉDOUARD BRANLY,[1] *La télégraphie sans fil.* "Collection Payot." Paris : Payot.

[1] Après des essais relatifs à l'emploi du thermomultiplicateur, M. Édouard Branly s'occupa de la déperdition de l'électricité et à cette occasion, des conductibilités électriques des corps isolants. C'est en 1890 et 1891 qu'il publia, à la suite d'études prolongées, sa découverte de la conductibilité intermittente des radio-conducteurs et de la fermeture à distance d'un circuit de pile, sous l'influence d'une étincelle de décharge de condensateur. La répétition de ces expériences spéciales, avec les mêmes radio-conducteurs, entre des stations de plus en plus éloignées, a permis plus tard la réalisation de la télégraphie sans fil.

Au premier jour du succès de ses mémorables expériences de 1899, entre les côtes de France et d'Angleterre, M. Marconi addressa à M. Branly la dépêche suivante qui fut transmise par télégraphie sans fil de Douvres à Wimereux : " M. Marconi envoie à M. Branly ses respectueux compliments à travers la Manche, ce beau résultat étant dû, en partie, aux remarquables travaux de M. Branly."

REMARQUE SUR L'ORIGINE DES NOTIONS FONDAMENTALES DE LA CLASSIFICATION DES SCIENCES

Puisque nos diverses sciences ont été artificiellement séparées les unes des autres par le nombre des notions fondamentales auxquelles elles font appel, peut-être n'est-il pas inutile, sans nous attarder longuement à les définer, de dire cependant quelques mots de chacune de ces notions, afin de rappeler combien elles sont liées aux sensations qui nous sont familières ; c'est-à-dire au „ cas particulier " dans lequel nous nous trouvons. Cette rapide revue aura l'avantage de bien faire ressortir la part de convention qui se trouve à la base même des notions sur lesquelles repose notre classification des sciences.

La notion de NOMBRE nous paraît avoir pour origine première la *discontinuité,* quelle que soit la manière dont elle se manifeste à nos sens : forme, couleur, son, toucher, etc.

La notion d'ESPACE et de sa mesure paraît liée à celle de *corps solide supposé gratuitement invariable, quelle que soit la position qu'il occupe, son orientation ou sa vitesse* ; de même *l'égalité de deux espaces suppose la superposition de deux solides, „ invariables par définition."* Mais nous venons de voir que le principe de relativité a pour effet de modifier cette conception originelle et que la mesure d'une longueur dépend de la vitesse relative entre l'observateur et la grandeur à mesurer.

La notion de TEMPS paraît intimement liée à celle de *variation.* On ne peut en effet concevoir au point de vue physique la notion de temps dans un univers où tout serait figé et dans lequel aucune variation quelconque ne se produirait. Pour cet univers, le temps n'existerait pas ; du moins rien ne permettrait de le mesurer.[1] *L'égalité de deux intervalles de temps se déduit alors de la supposition que „ les mêmes causes mettent le même temps à produire la même variation."* La notion de simultanéité de deux temps est plus délicate à définer ; elle repose également sur des conventions, fort bien exposées, en particulier par H. Poincaré.[2] Nous

[1] Il ne s'agit ici, bien entendu, que du temps physique, et non du temps tel qu'on peut l'envisager en psychologie—temps bergsonien par exemple.

[2] H. Poincaré, *L'espace et le temps* (Dernières pensées).—Le même : *La relativité de l'espace* (Science et méthode).—Le même : *La mesure du temps, la notion d'espace* (La valeur de la science).

nous dispenserons de revenir ici sur ces questions délicates et nous nous contenterons de rappeler que le principe de relativité a modifié profondement ces conventions, comme il a fait pour l'espace.

La notion de MATIÈRE paraît avoir pour origine la résistance qu'offrent les corps à l'effort musculaire, lorsqu'on cherche à les déplacer ou plus généralement à modifier leur mouvement. Sous ce rapport, l'inertie est la propriété qui semble par excellence caractériser la matière. Mais ici encore, le principe de relativité intervient pour attribuer de façon générale l'inertie à l'énergie que possède un corps. Il en résulte que, „énergie" et „matière" ne seraient que les deux aspects d'une seule et même chose ; et l'on n'en conçoit que mieux pourquoi la force et la matière sont toujours inséparables l'une de l'autre.

En résumé, le principe de relativité tend à modifier profondément les conventions qui sont à la base de nos notions habituelles d'espace, de temps et même de matière, conventions justifiées principalement, semble-t-il, par le fait que nous n'avons pas jusqu'ici eu à prendre en considération des corps matériels animés de vitesses suffisantes, relativement à l'énorme vitesse de la lumière.

La notion de VIE n'est pas aisée à définir brièvement ; celle comporte en effet tout un ensemble de faits qui paraissent communs à tous les organismes que l'on a cru devoir appeler *vivants* en vertu même de la présence de ces faits.

Rappelons seulement que l'être vivant a la propriété de naître, de croître, de se reproduire et de mourir ; que sa croissance est une croissance qui se différencie généralement selon les divers organes, à l'inverse de ce qui se passe dans les cristaux qui peuvent aussi naître, croître et mourir, mais dont chaque parcelle, si petite soit-elle, n'est que la répétition d'une partie quelconque de l'ensemble. L'élément primordial du développement de l'être vivant paraît bien être la cellule ; mais cette cellule se différencie, se transforme suivant les organes qu'elle a pour mission de constituer ou de renouveler. L'organisme vivant a, comme on sait, la faculté de s'augmenter aux dépens des matériaux qui se trouvent dans le milieu ambiant ; mais il a surtout celle de choisir parmi ces substances celles qui sont appropriées à son développement ou à son fonctionnement, en rejetant celles que lui sont inutiles ou nuisibles, sans que l'on s'explique

encore d'une façon précise le processus physico-chimique de cette assimilation, etc.

Mais au-dessus de toutes ces propriétés, dont on pourrait à la rigueur discuter, je pense, la généralité dans bien des cas, il y a un fait expérimental qui domine tous les autres faits : *la vie ne paraît procéder que de la vie elle-même.* « La vie, comme le dit Bergson, apparaît comme un courant qui va d'un germe à un germe par l'intermédiaire d'un organisme développé," et il faut le reconnaître, l'impossibilité pratique de réaliser la génération spontanée vient fournir à cette manière de voir un argument expérimental de premier ordre.

En sera-t-il toujours de même ?—nous ne pouvons évidemment l'affirmer,—mais en attendant, cette impossibilité pratique de faire dériver la vie, autrement que de la vie elle-même, justifie pleinement la classement des phénomènes vitaux dans une catégorie à part, provisoirement peut-être.

Quant à la notion de PENSÉE, il semble préférable de renoncer entièrement à la définir ; c'est le mystère des mystères. Tout ce que la science peut vraisemblablement nous apprendre de positif sur son compte, ce sont les corrélations qui l'unissent aux phénomènes biologiques et physico-chimiques *qui, expérimentalement, l'accompagnent toujours* ; et c'est déjà beaucoup lui demander.

CH.-EUG. GUYE, *L'Évolution physico-chimique.* Paris : Étienne Chiron.

AU DELÀ ?

Au delà de cette voûte étoilée, qu'y a-t-il ? De nouveaux cieux étoilés. Soit ! et au delà ? L'esprit humain, poussé par une force invincible, ne cessera jamais de se demander : Qu'y a-t-il au delà ? Veut-il s'arrêter soit dans le temps, soit dans l'espace ? Comme le point où il s'arrête n'est qu'une grandeur finie, plus grande seulement que toutes celles qui l'ont précédée, à peine commence-t-il à l'envisager, que revient l'implacable question, et toujours, sans qu'il puisse faire taire sa curiosité. Il ne sert de rien de répondre : « Au delà sont des espaces, des temps ou des grandeurs sans limites." Nul ne comprend ces paroles. Celui qui proclame l'existence de l'infini, et personne ne peut y échapper, accumule dans cette affirmation plus de surnaturel qu'il n'y

en a dans tous les miracles de toutes les religions ; car la notion de l'infini a ce double caractère de s'imposer et d'être incompréhensible. Quand cette notion s'empare de l'entendement, il n'y a qu'à se prosterner. Encore, à ce moment de poignantes angoisses, il faut demander grâce à sa raison : tous les ressorts de la vie intellectuelle menacent de se détendre ; on se sent près d'être saisi par la sublime folie de Pascal. . . .

LOUIS PASTEUR, *Discours de réception à l'Académie française.* Paris : Calmann-Lévy.

EXAMINATION PAPERS, UNIVERSITY OF LONDON

L'appareil de Kundt se compose d'un tube de verre fermé de chaque côté par un bouchon. L'un des bouchons est traversé par une baguette de verre, dont l'extrémité, intérieure au tube, porte un disque d'un diamètre légèrement inférieur à celui du tube, et qui est fixée en son milieu, extérieur au tube, dans les mâchoires d'un étau. Si l'on fait vibrer longitudinalement cette baguette, le disque qu'elle porte met en mouvement la colonne de gaz comprise entre ce disque et le deuxième bouchon.—Interm. (Birkbeck College), 1922.

Les phénomènes de l'électrolyse, qui suivent rigoureusement les lois de Faraday, fournissent les méthodes les plus précises pour la mesure de l'intensité des courants. La détermination de l'intensité d'un courant se ramène ainsi à la mesure d'un poids et à l'évaluation d'un intervalle de temps, mesures qu'on peut effectuer avec un haut degré de précision. Pour pouvoir appliquer la méthode électrolytique à la mesure de l'intensité des courants il faut déterminer avec la plus grande exactitude possible l'équivalent électrochimique d'un métal quelconque. On a choisi dans ce but *l'argent.*—Gen. Interm. 1922.

Si des corps agissent les uns sur les autres, soit en se tirant par des fils ou des verges inflexibles, soit en se poussant, pourvu qu'ils soient à ressort parfait dans ce dernier cas, la somme des produits des masses par les carrés des vitesses, fait toujours une quantité constante ; et si ces corps sont animés par des puissances quelconques, la somme des produits des masses par les carrés des vitesses à chaque instant, est égale à la somme des produits des masses par les carrés

des vitesses initiales, plus les carrés des vitesses que les corps auraient acquises, si, étant animés par les mêmes puissances, ils s'étaient mus librement chacun sur la ligne qu'il a décrite. M. Huyghens est le premier, que je sache, qui ait fait mention de ces deux principes.—B.Sc. Pass, 1922.

Considérons un rayon lumineux qui se propage à l'intérieur d'un cristal suivant la direction de l'un des axes optiques. La surface de l'onde présente, au point où ce rayon la rencontre, une infinité de plans tangents ; il peut donc se propager suivant l'axe une infinité de rayons, dont chacun est polarisé dans un plan perpendiculaire à l'une des génératrices du cône enveloppé par les plans tangents. Tous ces rayons se propagent dans l'intérieur du cristal avec la même vitesse, mais ils donnent des rayons émergents distincts, que l'on peut déterminer en employant la construction d'Huyghens. Ceux-ci forment un cône ayant pour sommet la pointe d'émergence.—B.Sc. Hons., 1922.

Constantes des Piles.—La force électromotrice d'une pile dépend de la nature des réactions chimiques des substances en présence, de leur concentration et de la température. La résistance intérieure dépend de sa forme et de ses dimensions ; on peut la diminuer en rapprochant les plaques et en augmentant leurs dimensions.

La force électromotrice d'une pile E et sa résistance intérieure r se nomment les constantes de la pile. Une pile est dite constante ou impolarisable lorsque ses constantes ne changent pas pendant son fonctionnement. La *polarisation* d'une pile est l'affaiblissement de son débit.—Interm., 1923.

Un gaz parfait et une vapeur saturante sont deux termes extrêmes d'une série continue d'états possibles d'une même substance. Un gaz parfait est caractérisé par deux quelconques des trois lois de Boyle, Gay-Lussac et Joule ; dans une vapeur saturante, au contraire, la tension est uniquement fonction de la température (pour une substance donnée), d'où résulte que toute compression isothermique et tout refroidissement à volume constant sont accompagnés par le passage d'une partie de la substance de l'état gazeux à l'état liquide. Les gaz réels, qui commencent déjà à ne plus suivre les lois mentionnées, et les vapeurs, qui ne se trouvent pas trop éloignées du point de saturation, possèdent des

propriétés, pour ainsi dire, intermédiaires, et il n'est pas possible de tracer une limite précise entre les deux.—B.Sc. Pass, 1923.

La méthode que M. Thomson a indiquée a été appliquée par lui en collaboration avec Joule, de la manière suivante : le gaz sur lequel on expérimente traverse sous une pression constante P un long serpentin de cuivre, et prend exactement la température t_1 du calorimètre dans lequel le serpentin est plongé. Ce serpentin se termine par un cylindre de bois fermé par un tampon de coton, à travers lequel le gaz s'écoule sans vitesse dans l'atmosphère. Ce tampon est protégé contre tout réchauffement par un cylindre de bois concentrique, rempli aussi de coton. Un thermomètre placé immédiatement au delà du tampon donne la température t_2 du gaz qui s'écoule.—B.Sc. Hons., 1923.

L'équivalent mécanique de la chaleur.—Les Physiciens considèrent aujourd'hui comme un axiome le fait que l'énergie totale d'un système reste constante, quelles que puissent être ses transformations. En d'autres termes, si l'énergie passe d'une forme déterminée, telle que l'énergie de la matière en mouvement, à une autre forme, telle que l'énergie moléculaire ou l'énergie électrique, la valeur numérique de l'effet obtenu dépend uniquement de la quantité d'énergie ainsi transformée, mais ne dépend ni de la méthode employée pour la transformation, ni du temps, ni d'aucune autre circonstance extérieure.—Interm., 1924.

Après les électrons ou atomes d'électricité, voici venir les magnétons ou atomes de magnétisme qui nous arrivent aujourd'hui par deux voies différentes, par l'étude des corps magnétiques et par l'étude du spectre des corps simples. Je n'ai pas à vous rappeler ici la belle conférence de M. Weiss et les étonnants rapports de commensurabilité que ces expériences ont mis en évidence d'une façon si inattendue. Là aussi il y a des rapports numériques que l'on ne saurait attribuer au hasard et dont il faut chercher l'explication.—B.Sc. Hons., 1924.

SECTION III. MATHEMATICS

Intérêts composés

Définition.—Une somme est placée à *intérêts composés* lorsque, à la fin de chaque unité de temps (ordinairement une année), l'intérêt rapporté s'ajoute au capital pour produire des intérêts pendant les unités de temps qui suivent. On dit aussi que les intérêts se *capitalisent* à la fin de chaque unité de temps.

Formule de l'intérêt composé. *Problème. Calculer la valeur que prend un capital* a, *placé à intérêts composés pendant un nombre entier d'années, au taux* r, *pour un franc, les intérêts se capitalisant à la fin de chaque année.*

Soient a le capital placé, r l'intérêt d'un franc par an ou le centième du taux, n le nombre d'années, et A la valeur acquise par ce capital.

Puisque a francs rapportent ar en un an, la somme placée a est devenue à la fin de la première année :

$$a + ar \qquad \text{ou} \qquad a(1 + r).$$

Ainsi, on obtient la valeur d'un capital à la fin d'une année, en multipliant par $1 + r$ sa valeur au commencement de la même année.

A la fin de la deuxième année, le capital sera devenu

$$a(1 + r)(1 + r) \qquad \text{ou} \qquad a(1 + r)^2$$

De même à la fin de la troisième année,

$$a(1 + r)^2(1 + r) \qquad \text{ou} \qquad a(1 + r)^3$$

et ainsi de suite.

Donc, après n années, la valeur A acquise par le capital a sera

$$A = a(1 + r)^n. \qquad (1)$$

Telle est la formule des intérêts composés ; elle renferme

quatre quantités variables : A, a, n, et r ; trois de ces quantités étant données, on peut calculer la quatrième.

Calcul du capital placé.—Il est donné par la formule

$$a = \frac{A}{(1 + r)^n}. \qquad (2)$$

Calcul du taux.—La formule (1) donne successivement :

$$(1 + r)^n = \frac{A}{a}, \quad 1 + r = \sqrt[n]{\frac{A}{a}};$$

d'où

$$r = \sqrt[n]{\frac{A}{a}} - 1. \qquad (3)$$

Calcul du temps.—Si dans la formule (1) on prend les logarithmes de deux membres, il vient :

$$\log A = \log a + n \log (1 + r) ;$$

d'où

$$n = \frac{\log A - \log a}{\log (1 + r)} \qquad (4)$$

F. G.-M., *Cours d'algèbre élémentaire.* Tours : Maison A. Mame et Fils.

Variations des fonctions

Une fonction y est dite *fonction explicite* de x lorsque l'équation qui définit y comme fonction de x est résolue par rapport à y ; elle est dite *implicite* lorsque l'équation n'est pas résolue par rapport à y.

Une fonction est *entière* quand la variable indépendante n'est pas en dénominateur ; elle est *fractionnaire* dans le cas contraire.

Une fonction est *rationnelle* quand la variable indépendante n'y entre pas sous un radical ; elle est *irrationnelle* dans le cas contraire.

La fonction d'une variable peut être elle-même prise pour variable.

Ainsi, dans l'expression $y = ax + b$,
où y est fonction de x, rien n'empêche de considérer x comme fonction de y. Sous forme explicite ou a :

$$x = \frac{y}{a} - \frac{b}{a}$$

et x est dite, dans ce cas, une fonction *réciproque* de y.

On nomme fonctions *algébriques* celles qui ne renferment que des opérations algébriques, telles que additions, soustractions, multiplications, divisions, puissances et racines, et l'on appelle fonctions *transcendantes* celles qui contiennent, en outre, des quantités transcendantes, telles que des exponentielles, des sinus, des logarithmes.

Ibidem.

CALCUL DIFFÉRENTIEL

Pour bien comprendre l'objet du calcul différentiel, il est nécessaire de recourir à quelques définitions. On nomme *infiniment petite* une quantité variable qui tend vers la limite zéro : ainsi, lorsque dans la géométrie élémentaire, on considère un cercle et un polygone régulier inscrit, si l'on augmente indéfiniment le nombre des côtés du polygone, la grandeur de ce côté décroît indéfiniment, et peut devenir aussi petite qu'on voudra ; le côté est dit alors infiniment petit, parce qu'il a pour limite zéro.

De même, lorsqu'une quantité croît d'une manière continue, et passe d'une grandeur à une autre, on peut toujours concevoir que ce passage s'effectue par degrés aussi petits qu'on voudra, de sorte que l'accroissement total ou fini soit considéré comme une somme d'accroissements infiniment petits. Ces derniers, qu'on nomme les *différentielles,* sont l'objet du calcul différentiel.

Dictionnaire général des sciences théoriques et appliquées. Paris : Garnier Frères.

CALCUL INTÉGRAL

Le calcul intégral est l'inverse du calcul *différentiel* ; il a pour objet de remonter d'une dérivée ou d'une différentielle donnée à la fonction d'où elle a pu être déduite dans le cas où cette fonction existe, c'est-à-dire où la fonction donnée est intégrale, ce qui arrive pour celles qu'on recontre le plus fréquemment, mais non pour toutes celles qu'on peut concevoir. Soit $u = F(x)$ une fonction de la variable x et $f(x)\,dx$ sa différentielle ; on a par définition $du = f(x)\,dx$. La fonction u est dite l'*intégrale* de $f(x)\,dx$, et on la représente par le signe $\int f(x)\,dx$.

Une différentielle a une infinité d'intégrales, lesquelles ne diffèrent que par une constante. Si $F(x)$ a pour différentielle

$f(x)\,dx$, $F(x) + C^{te}$ sera l'expression la plus générale qui possède cette différentielle. C'est l'*intégrale générale*, ainsi par example : $\int 3\,x^2\,dx = x^3 + C^{te}$. Les intégrales *particulières* sont celles qui se déduisent de l'intégrale générale pour une valeur particulière attribuée à la *constante arbitraire*.

On sait toujours différentier une fonction $f(x)$ exprimée au moyen des signes ordinaires de l'analyse. Au contraire, on ne sait que rarement intégrer une différentielle $f(x)\,dx$ prise au hasard. Toutefois, quand l'intégrale existe, on peut se proposer, de la trouver, ou d'en connaître les propriétés, quand on démontre qu'elle ne peut s'exprimer au moyen des fonctions simples de l'analyse.

Ibidem.

Construction de la courbe du troisième ordre determinéé par neuf points.

Newton, à la suite de son *Énumération des courbes du troisième ordre*, a donné, dans un chapître sur la *Description organique des courbes*, une construction de la courbe du troisième ordre déterminée par sept points dont un doit être un point double. Il ajoute qu'on pourra décrire des courbes d'un ordre supérieur ayant des points doubles ; mais que la description des courbes du troisième ordre ou d'un ordre supérieur qui n'auraient pas de points doubles est un problème très difficile.

Plusieurs géomètres du même temps, et surtout Maclaurin et Braikenridge, ont suivi la voie tracée par Newton, dans leurs ouvrages sur la description des courbes, sans rien ajouter d'essentiel aux résultats du grand géomètre. Aussi, bien qu'en Analyse la détermination d'une courbe assujettie à passer par le nombre de points que comporte son ordre soit un des problèmes les plus faciles, puisque le calcul de l'équation de la courbe ne demande qu'une simple élimination entre des équations du premier degré, on n'avait cependant point encore obtenu la construction générale même de la courbe la plus simple, celle du troisième ordre.

Les progrès récents de la géométrie ont permis de reprendre ces questions, et de connaître enfin la construction de la courbe du troisième ordre déterminée par neuf points, dont on a même pu donner plusieurs solutions différentes.

La première et la plus simple repose sur le théorème suivant : *Si l'on a un faisceau de coniques, et un faisceau de droites qui correspondent aux coniques, une à une respectivement, les points d'intersection des coniques et des droites correspondantes sont sur une courbe du troisième ordre qui passe par les quatre points communs aux coniques et par le centre du faisceau de droites.*

Ce théorème résulte de cette considération fort simple, que les coniques et les droites forment sur une transversale quelconque deux séries de points tels, qu'à un point de la première série correspond un point de la seconde, et qu'à un point de la seconde série correspondent deux points de la première ; relation qui s'exprime par l'équation

$$x^2(az + b) + x(a'z + b') + a''z + b'' = o,$$

entre les abscisses des deux séries de points. D'où l'on conclut qu'il existe sur la transversale trois points d'une série qui coïncident chacun avec un point correspondant de l'autre série, lesquels trois points appartiennent à la courbe lieu des points d'intersection des coniques et des droites : ce qui prouve que cette courbe est du troisième ordre.

Pour appliquer le théorème à la construction de la courbe du troisième ordre déterminée par neuf points, on fait passer par quatre de ces points un faisceau de coniques, et on détermine un certain point qui sera le centre d'un faisceau de rayons correspondants à ces coniques, par la condition que les cinq rayons passant par les cinq points donnés (autres que les quatre qui sont la base du faisceau de coniques), correspondent aux coniques qui passent par ces cinq points. Dès lors, les rayons correspondants aux autres coniques les coupent sur la courbe du troisième ordre demandée.

Le problème de la construction d'une courbe déterminée par des points est un de ceux qui méritent le plus de fixer l'attention des géomètres, parce que, étant le plus facile dans le problème général de la détermination des courbes satisfaisant à des conditions données, il doit servir de point de départ lorsque ensuite on adjoint à des points des droites prises pour tangentes des courbes demandées. La solution de ce second problème, où les données sont des points et des tangentes, exigera bien des développements secondaires, à raison des cas particuliers dans les données de chaque question. Mais cette étude sera nécessaire pour faire connaître les variétés de forme de toutes les courbes d'un même ordre, et surtout le nombre des

solutions qu'admet chaque question, eu égard au nombre des points et des tangentes qui en forment les conditions.

M. CHASLES, *Rapport sur les progrès de la géométrie.* Publication faite sous les auspices du Ministère de l'Instruction publique. Paris, 1870.

CONSTRUCTION GÉOMÉTRIQUE DES RACINES DES ÉQUATIONS DU TROISIÈME ET DU QUATRIÈME DEGRÉ.

La construction géométrique des racines des équations algébriques est une des applications les plus importantes de la Géométrie de Descartes, et a occupé un grand nombre de géomètres, notamment Newton dans son *Arithmétique universelle.* Mais ces constructions, dites *géométriques*, parce qu'on y emploie des courbes, reposent sur des considérations de Géométrie analytique, dont les principales difficultés se rapportent à la pure Analyse ; car il s'agit de faire dériver l'équation proposée de l'élimination d'une variable entre les équations des deux courbes dont on veut se servir, équations qu'il faut choisir et associer convenablement.

On devait désirer que la Géométrie pût se suffire à elle-même, en s'affranchissant de la nécessité de recourir aux méthodes analytiques. Tel est l'objet de la Note sur la *construction des racines des équations du troisième et du quatrième degré.* Cette construction se fait fort simplement par les intersections de deux coniques, dont une est prise à volonté, et dont l'autre se construit par points. On détermine ces points sans aucun calcul, et par la simple théorie des couples de points en involution sur une droite, en invoquant les deux théorèmes suivants, dont le premier suffit pour la construction des équations du troisième degré :

1° *Si, dans l'équation*

$$x^2(az + b) + x(a'z + b') + a''z + b'' = 0,$$

les deux variables représentent les abscisses de points x *et* z *pris sur une même droite, les couples de points* x *correspondants à de simples points* z *sont en involution, et correspondent anharmoniquement aux points* z.

2° *Si, dans l'équation*

$$x^2(az^2 + bz + c) + x(a'z^2 + b'z + c') + (a''z^2 + b''z + c'') = 0$$

le déterminant des neufs coefficients est nul, les variables se correspondent par couples, et les couples de points qu'elles déterminent

sur une droite forment deux involutions, et se correspondent anharmoniquement.

Nous venons de dire qu'on se sert des points d'intersection de deux coniques pour trouver les racines de l'équation proposée. Mais on peut aussi se servir des tangentes communes à deux coniques. Ce qui fait une seconde solution géométrique de la question.

Ibidem.

CARRÉ ET RECTANGLE

a) *Parmi les figures quadrilatères, celle qui a ses côtés égaux et ses angles droits se nomme carré.*

Celle qui a ses angles droits, mais qui n'a pas ses côtés égaux, se nomme rectangle.

Ces définitions d'Euclide ont été conservées par Legendre dans ses Éléments de Géométrie de 1794 ; mais le savant français fait à ce sujet les réflexions suivantes : „ Dans la définition ordinaire du *parallélogramme rectangle* et du *carré* on dit que les angles de ces figures sont droits ; il serait plus exact de dire que leurs angles sont égaux. Car supposer que les quatre angles d'un quadrilatère peuvent être droits, et même que les angles droits sont égaux entre eux, c'est supposer des propositions qui ont besoin d'être démontrées. On éviterait cet inconvénient et plusieurs autres du même genre, si, au lieu de placer les définitions, suivant l'usage, à la tête d'un livre, on les distribuait dans le courant du livre, chacune à la place où ce qu'elle suppose est déjà démontré."

Nous ajouterons qu'Euclide admet bien un peu plus loin, comme axiome, au début du Livre I, que les angles droits sont égaux entre eux, mais il démontre en revanche (Livre I, 32) que la somme des angles d'un triangle est égale à deux droits ; cette dernière proposition sert, comme on sait, à prouver que la somme des angles d'un quadrilatère est égale à 4 droits, et par suite que les 4 angles d'un quadrilatère peuvent être droits.

b) *Parmi les quadrilatères convexes, on distingue : . . . le rectangle,* qui a tous ses angles égaux entre eux ; . . . *le carré, qui a ses côtés égaux et ses angles égaux ;* . . . (Rouché et de Comberousse, 1866–91).

Ces définitions ne donnent plus lieu à critique, si l'on admet que les côtés et les angles d'un polygone peuvent être tous égaux.

E. FOURREY, *Curiosités géométriques.* Paris : Vuibert.

Figures égales

Deux figures sont égales quand on peut les superposer ; pour les superposer, il faut déplacer l'une d'elles jusqu'à ce qu'elle coïncide avec l'autre ; mais comment faut-il la déplacer ? Si nous le demandions, on nous répondrait sans doute qu'on doit le faire sans la déformer et à la façon d'un solide invariable ; le cercle vicieux serait alors évident.

En fait, cette définition ne définit rien : elle n'aurait aucun sens pour un être qui habiterait un monde où il n'y aurait que des fluides. Si elle nous semble claire, c'est que nous sommes habitués aux propriétés des solides naturels qui ne diffèrent pas beaucoup de celles des solides idéaux dont toutes les dimensions sont invariables.

Cependant, tout imparfaite qu'elle soit, cette définition implique un axiome, la possibilité du mouvement d'une figure invariable (Poincaré, 1891).

Ibidem.

Polygones semblables

a) *Les figures rectilignes semblables sont celles dont les angles sont égaux chacun à chacun et dont les côtés placés autour des angles égaux sont proportionnels* (Euclide, 3e s. av. J.-C.).

Cette définition a été conservée, sous une forme un peu différente, par les auteurs modernes. Legendre, qui lui-même l'a adoptée, fait observer qu'elle contient trois conditions de trop ; mais c'est précisément la difficulté de faire rentrer le nombre strictement nécessaire de conditions dans une définition simple qui a fait qu'on n'a pas modifié celle d'Euclide, en France tout au moins.

Dans d'excellents *Éléments de Géométrie* dont la 13e édition italienne a été traduite en français en 1903, M. Faifofer suppose une correspondance établie entre les points de deux figures, d'où le nom de *segments correspondants* et d'*angles correspondants* ; il donne alors la définition suivante :

b) *Si l'on peut établir, entre les points de deux figures, une correspondance univoque telle que deux angles correspondants quelconques soient égaux, on dit que les deux figures sont semblables.*

Mais, avec cette définition, l'exposition de la théorie de la similitude se trouve compliquée.

Ibidem.

Le Raisonnement d'Euclide

Mais pour montrer que l'idée de déplacement et par conséquent l'idée de groupe a joué un rôle prépondérant dans la genèse de la géométrie, il reste à faire voir que cette idée domine tous les raisonnements d'Euclide et des auteurs qui ont écrit après lui sur la géométrie élémentaire.

Euclide commence par énoncer un certain nombre d'axiomes ; mais on ne doit pas s'imaginer que les axiomes qu'il énonce explicitement sont les seuls auxquels il a recours. Si nous analysons soigneusement ses démonstrations, nous y trouverons, sous une forme plus ou moins voilée, un certain nombre d'hypothèses qui sont en réalité des axiomes déguisés ; et nous pourrions en dire presque autant de quelques-unes de ses définitions.

Sa géométrie commence par déclarer que deux figures sont égales si elles sont superposables. Ceci admet qu'elles peuvent être déplacées et aussi que parmi tous les changements qu'elles peuvent subir, nous pouvons distinguer ceux qui peuvent être regardés comme des déplacements sans déformation. Cette définition implique également que deux figures qui sont égales à une troisième sont égales entre elles. Et cela revient à dire que s'il y a un déplacement qui mette la figure A sur la figure B et un second déplacement qui superpose la figure B à la figure C, il y en aura aussi un troisième, la résultante des deux premiers, qui superposera la figure A à la figure C. En d'autres termes on présuppose que les déplacements forment un groupe. La notion de groupe, par conséquent, est introduite dès le début et introduite inévitablement.

Quand je prononce le mot „ longueur," un mot que nous estimons souvent inutile de définir, j'admets implicitement que la figure formée par deux points n'est pas toujours superposable à celle qui est formée par deux autres points ; car autrement deux longueurs quelconques seraient égales entre elles. Or, c'est là justement une propriété importante de notre groupe.

J'énonce implicitement une hypothèse analogue quand je prononce le mot „ angle."

Et comment procédons-nous dans nos raisonnements ? En déplaçant nos figures et en leur faisant exécuter certains mouvements. Je veux montrer qu'en un point donné d'une ligne droite on peut toujours élever une perpendiculaire, et

pour cela j'imagine une droite mobile tournant autour du point en question. Mais ici je présuppose que le mouvement de cette nouvelle droite est possible, qu'il est continu, et qu'en tournant ainsi elle peut passer de la position dans laquelle elle se confond avec la ligne droite donnée à la position opposée dans laquelle elle se confond avec son prolongement. Ici encore nous avons une hypothèse qui touche aux propriétés du groupe.

Pour démontrer les cas d'égalité des triangles, les figures sont déplacées de telle sorte qu'elles se superposent l'une à l'autre.

Quelle enfin est la méthode employée pour démontrer que par un point donné on peut toujours mener une et une seule perpendiculaire à une droite donnée ? On fait tourner la figure de 180° autour de la ligne droite donnée et on obtient de cette manière le point symétrique au point donné par rapport à la droite donnée. Nous avons ici un exemple fort caractéristique et qui met en évidence le rôle que la ligne droite joue le plus fréquemment dans les démonstrations géométriques, celui d'un axe de rotation.

Ceci implique l'existence du sous-groupe que j'ai appelé le faisceau rotatif. Quand,—ce qui arrive aussi fréquemment,—on fait glisser une ligne droite le long d'elle-même (continuant bien entendu à supposer que la droite peut servir d'axe de rotation) on tient implicitement pour assurée l'existence du sous-groupe hélicoïdal. En résumé, le principal fondement des démonstrations d'Euclide est réellement l'existence du groupe et ses propriétés.

Sans doute, il a recours à d'autres axiomes qu'il est plus difficile de rapporter à la notion du groupe. Tel est l'axiome qu'emploient quelques géomètres quand ils définissent la ligne droite comme la plus courte distance entre deux points. *Mais ce sont précisément les axiomes de cette nature qu'Euclide annonce.* Les autres, qui sont plus directement associés à l'idée de déplacement et à l'idée de groupe, sont justement ceux qu'il admet implicitement et qu'il ne croit même pas nécessaire d'énoncer. Cela revient à dire que les premiers axiomes (ceux qui sont énoncés) sont le fruit d'une expérience plus récente, tandis que les sous-entendus ont été assimilés les premiers par nous ; par conséquent la notion de groupe existait avant toutes les autres.

HENRI POINCARÉ, *Des fondements de la géométrie.* Paris : Étienne Chiron.

CRITÈRE DE CONVERGENCE (Cauchy)

La condition nécessaire et suffisante pour qu'une variable x *qui passe par une succession illimitée de valeurs, ait une limite finie et déterminée est que, à tout nombre positif si petit qu'il soit* ε, *corresponde au moins une valeur de* x *qui diffère de moins de* ε *de toutes les suivantes.*

Il est clair que, dans ce cas, la variable x est bornée et je dis que ses plus grande et plus petite limites A et a ne peuvent différer.

Sinon, en effet, on pourrait choisir un nombre positif ε^1 assez petit pour que $a + \varepsilon^1$ fût encore $< A - \varepsilon^1$, la variable x oscillerait indéfiniment d'un de ces deux nombres à l'autre (même en les dépassant), aucune valeur de x ne pourrait donc différer de toutes les suivantes d'une quantité inférieure à la moitié de cet intervalle, ni, par suite, inférieure à ε (si ε. est supposé moindre que cette moitié).

La condition est donc suffisante. Il est évident qu'elle est nécessaire, car, si les valeurs de x se rapprochent indéfiniment d'un nombre a, elles finissent par différer aussi peu qu'on veut les unes des autres. Le théorème est démontré.

La critère de convergence est plus simple si la variable x est *monotone*, c'est-à-dire si elle est : soit constamment croissante (ou stationnaire), soit constamment décroissante (ou stationnaire). On l'énonce comme il suit :

Si la variable x *varie toujours dans le même sens* (*est monotone*), *la condition nécessaire et suffisante pour qu'elle ait une limite finie est qu'elle soit bornée.*

En effet, si la variable est croissante, elle tendra vers sa borne supérieure A, car elle ne peut surpasser A, tandis qu'elle surpasse définitivement tout nombre moindre. De même, si elle décroît, elle a sa borne inférieure pour limite.

On énonce souvent cette règle en disant qu'*une variable qui varie toujours dans le même sens a une limite finie ou infinie.*

Les critères de convergence sont généraux et s'appliquent quel que soit le mode de variation de x.

Ces modes sont très variés. Tantôt x tendra vers sa limite d'une manière continue en passant par toutes les valeurs intermédiaires, tantôt d'une manière discontinue en passant par une suite illimitée de valeurs isolées. Dans ce dernier cas, il arrive le plus souvent que les valeurs successives de x

peuvent être toutes numérotées dans l'ordre de leur succession :

$$x = x_1, x_2, x_3, \ldots x_n, \ldots x_{n+p}, \ldots$$

Tel est le cas pour les sommes successives des termes d'une série, les réduites successives d'une fraction continue, etc. . . . Le critère de Cauchy peut alors s'énoncer comme il suit :

La condition nécessaire et suffisante pour que la suite x_1, x_2, $x_3, \ldots x_n, \ldots$ *ait une limite finie et déterminée est qu'à tout nombre positif* ε *si petit qu'il soit, corresponde un indice* n *tel que la condition*

$$| x_{n+p} - x_n | < \varepsilon$$

ait lieu pour tous les indices $n + p$ *supérieurs à* n.

CH. DE LA VALLÉE POUSSIN, *Cours d'analyse infinitésimale.* Louvain : Uystpruyst-Dieudonné.

COURBURE D'UNE COURBE PLANE

Courbure.—Considérons une courbe ayant pour équation

$$y = f(x)$$

et supposons que $f(x)$ ait des dérivées continues des deux premiers ordres. Soit MM′ un arc de courbe tel que la direction de la tangente varie toujours dans le même sens lorsque le point de contact se déplace de M en M′. Considérons les deux tangentes MT et M′T′ menées à ses deux extrémités dans le même sens. On appelle *courbure de l'arc* l'angle des deux tangentes extrêmes ; *courbure moyenne*, le rapport de cet angle à la longueur de l'arc ; *courbure au point* M, la limite vers laquelle tend la courburè moyenne quand le point M′ se rapproche indéfiniment du point M.

Désignons par Δs et $\Delta\varphi$ les accroissements de la longueur de l'arc et de l'inclinaison de la tangente quand on passe du point M au point M′. La courbure de l'arc MM′ sera $\Delta\varphi$, sa courbure moyenne $\Delta\varphi : \Delta s$ et sa courbure au point M

$$\lim \frac{\Delta\varphi}{\Delta s} = \frac{d\varphi}{ds}$$

Nous remarquerons, pour commencer, le théorème suivant :

Dans un cercle de rayon R, la courbure est la même en chaque point et égale à $1 : R$.

En effet, l'angle au centre correspondant à l'arc MM′ est

le même angle $\Delta\varphi$ que celui des tangentes extrêmes ; donc la longueur Δs de l'arc MM' est R $\Delta\varphi$. La courbure moyenne est, par conséquent, égale à 1 : R, quel que soit l'arc MM'. Passant à la limite, on voit que la courbure sera aussi égale à 1 : R en chaque point.

Ibidem.

EXTRÉMÉS LIBRES

Exercices

1. Etant donné un triangle, trouver dans le plan du triangle un point O tel que la somme des carrés de ses distances aux trois sommets soit minimée.

R. Soient (a_1, b_1), (a_2, b_2), (a_3, b_3) les coordonnées rectangulaires des trois sommets, (x, y) celles du point O. On trouve

$$3x = a_1 + a_2 + a_3, \qquad 3y = b_1 + b_2 + b_3$$

Le point O est le centre de gravité du triangle.

2. Etant donné un triangle, trouver dans le plan de ce triangle un point O tel que la somme de ses distances aux trois sommets soit minimée.

R. Conservant les notations précédantes, il faut minimer

$$f(x, y) = \Sigma\sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)} \quad (i = 1, 2, 3).$$

Soient r_1, r_2, r_3 les droites joignant le point O aux trois sommets, et θ_1, θ_2, θ_3 leurs angles avec l'axe des x. On a, si les dérivées partielles s'annulent,

$$\frac{\delta f}{\delta^x} = \cos\theta_1 + \cos\theta_2 + \cos\theta_3 = O.$$

L'axe des x étant quelconque, on en conclut que les trois droites r_1, r_2, r_3 font entre elles le même angle. Le minimé a lieu au point où les trois côtés du triangle sont vus sous le même angle (120°). Ce point est facile à construire si les trois angles du triangle sont $< 120°$. Mais si l'un des angles, A par exemple, est $> 120°$, ce point n'existe plus. On montrera que, dans ce cas, le minimé a lieu quand le point O vient coïncider avec le sommet A du triangle. C'est un exemple remarquable où l'extrémé correspond à un point de discontinuité des dérivées.

Ibidem.

STATIQUE : DES FORCES

Une force est toute cause capable de produire ou de modifier un mouvement.

On distingue dans toute force :

1° *Le point d'application* qui est le point matériel sur lequel la force agit.

2° La *direction*, c'est la droite suivant laquelle se déplacerait le point d'application s'il obéissait uniquement à l'action de cette force.

3° L'*intensité*, ou le rapport de la force considérée à une autre force prise pour unité.

4° Le *sens*, qui fait distinguer les forces en positives ou négatives. Si l'on considère comme positives celles qui tirent dans un sens, celles qui agissent en sens contraire sont négatives.

. . . .

Nous distinguerons 2 espèces de forces :

1° Les *forces d'impulsion* qui cessent d'agir sur le mobile dès qu'elles ont produit leur effet.

2° Les *forces constantes*, qui continuent à exercer leur action après avoir été appliquées aux corps.

Puissances et résistances.—On entend par *puissances*, les forces qui favorisent le mouvement.

Les *résistances* sont des forces qui retardent ou empêchent le mouvement.

On les distingue en *résistances utiles*, qui sont le but de la machine et en *résistances nuisibles*, c'est-à-dire les frottements et, en général, tous les inconvénients que l'on ne peut éviter.

MESURE DES FORCES

Mesurer une force, c'est la rapporter à une autre, prise comme unité.

L'unité de force adoptée est le kilogramme, poids d'un dm^3 d'eau distillée à son maximum de densité.

Pour mesurer les forces, on se sert du *dynamomètre*. Cet appareil se compose d'une lame d'acier trempé formant ressort et se courbant d'une quantité proportionnelle aux intensités des forces.

. . . .

Dynamomètres enregistreurs.—On peut avoir à évaluer une force dont l'intensité varie constamment entre des

limites assez étendues. Le tracé représentatif de ces variations s'obtient au moyen des dynamomètres enregistreurs. Ces instruments tracent sur une feuille de papier de diagramme des valeurs successives de la force à mesurer.

Mesure des forces par le calcul.—Les forces qui ne sont pas de nature à être appliquées à un dynamomètre peuvent être évaluées en les comparant à d'autres forces, au moyen des mouvements qu'elles produisent.

Action d'une force constante agissant sur un corps libre.—Soit une force quelconque F appliquée à un corps et soit a la vitesse imprimée à ce corps après la première seconde. Si après ce temps la force cesse d'être appliquée, le corps, d'après le principe de l'inertie, continuera son mouvement avec la vitesse a. Supposons que cette même force F continue d'agir : elle imprimera au corps une vitesse a pendant la deuxième seconde. Cette vitesse, appelée accélération, s'ajoutant à la première sera égale à $2a$; après la troisième seconde $3a$ et après t secondes at.

Nous voyons donc que quand la vitesse s'accroît d'une quantité constante après chaque seconde on obtient un mouvement uniformément accéléré.

MAURICE WILMOTTE, *Cours de mécanique.* Paris et Liége : Ch. Béranger.

EXAMINATION PAPERS, UNIVERSITY OF LONDON

On appelle *identité* une égalité évidente par elle-même ou qui devient évidente à la suite d'opérations effectuées sur ses deux membres.

Une *équation* est une égalité qui devient une identité quand on y remplace certaines des lettres qui y entrent par des valeurs particulières. Ces lettres s'appellent les inconnues de l'équation, et les valeurs particulières qu'il faut leur attribuer pour transformer l'égalité en identité portent le nom de solutions ou racines de l'équation ; on les désigne habituellement par les dernières lettres de l'alphabet.

On dit qu'une équation est vérifiée ou satisfaite par ses racines pour exprimer qu'elle devient une identité quand on y remplace les inconnues par les racines.—Interm. (Birkbeck College), 1922.

On rencontre dans la nature différentes formes de l'énergie, c'est-à-dire de la faculté de produire du travail, qui dépendent

de la position relative de deux ou plusieurs corps. Théoriquement un point matériel isolé ne peut posséder que de l'énergie cinétique ; il n'y a qu'un système de deux points matériels au moins, qui puisse posséder de l'énergie potentielle. Il faut pour cela qu'entre ces deux points matériels existe une force qui tende à les rapprocher ou à les éloigner l'un de l'autre, ou, d'une manière générale, que la présence d'un corps fasse naître une force agissant sur l'autre corps.—Gen. Interm., 1922.

« Qu'on me donne un point d'appui," a dit Archimède, « et je soulèverai le monde." Ainsi soulever un fardeau, si lourd qu'il soit, avec une puissance donnée, même faible, au moyen d'un corps rigide appelé levier, reposant sur un point fixe, voilà le principal but du levier. Négligeons son poids ; soit Q la résistance, P la puissance, O le point d'appui. Pour qu'il y ait équilibre, il faut et il suffit que les couples qui proviennent du transport des forces P et Q au point O se détruisent. Il faut donc que leurs plans OP et OQ coïncident ; puis les forces doivent tendre à faire tourner le levier en sens inverse.—Interm. (Birkbeck College), 1923.

Il peut arriver que les points d'un système matériel changent brusquement de vitesses dans un temps extrêmement court, sans que le système change sensiblement de position. Par exemple, une balle élastique lancée contre un mur rebondit : dans le temps extrêmement court pendant lequel la balle est en contact avec le mur, sa position ne change pas sensiblement, mais les vitesses de ses différents points changent brusquement, puisque la balle qui se dirigeait vers le mur un instant avant le contact s'en éloigne immédiatement après. Lorsque des faits de ce genre se présentent, on dit que le système en mouvement subit des *percussions* ou des *chocs*. On peut rattacher ces phénomènes aux théorèmes généraux de la Mécanique, en les considérant comme produits par des *Forces infiniment grandes agissant pendant un temps infiniment court.* —Gen. Interm., 1923.

On a fait beaucoup de tentatives pour obtenir la solution des équations littérales d'un degré supérieur au quatrième. Toutes ces tentatives ont été inutiles ; et même un géomètre italien a démontré, dans ces derniers temps, qu'il est impossible de trouver, pour la solution de l'équation générale d'un degré supérieur au quatrième, des formules analogues à celles qu'on

a découvertes pour les quatre premiers degrés. Il ne reste donc aucun espoir d'exprimer les racines d'une équation de degré quelconque par les fonctions irrationnelles des coefficients de son premier membre.—B.Sc. Pass, 1923.

L'entière généralité des formules algébriques n'est apparue aux géomètres que très lentement. Pendant longtemps, les racines négatives des équations, par exemple, ont été regardées comme des solutions fausses. On sait aujourd'hui que, toutes les fois qu'une grandeur, représentée dans ses états successifs par des longueurs prises à une échelle déterminée, est susceptible d'être comptée, sur une même ligne et à partir d'une certaine origine fixe, dans deux sens nettement différents, le changement de sens est lié algébriquement au changement de signe. On voit par là que les quantités négatives peuvent être tout aussi admissibles, tout aussi réelles que les quantités positives.—B.Sc. Hons., 1923.

L'empreinte du hasard est marquée, très curieusement quelquefois, dans les nombres déduits des lois les plus précises. Une table de logarithmes en témoigne. Pour 10,000 nombres successifs, dans les Tables à 10 décimales de Véga, je prends la septième figure du logarithme : rien dans ce choix n'est laissé au hasard. L'algèbre gouverne tout, une loi inflexible enchaîne tous les chiffres. Si l'on compte cependant les résultats on aura à très peu près sur les 10,000 épreuves mille fois le chiffre 0, mille fois le chiffre 1 et ainsi des autres : la formule se conforme aux lois du hasard.—Interm., 1924.

Une machine est formée d'un corps ou d'un système de corps mobiles gênés par des obstacles fixes. Considérée à l'état statique, elle sert à équilibrer une force à vaincre appelée résistance, au moyen d'un effort appelé force motrice ou puissance. Quand cet équilibre a lieu, la machine reste au repos, ou, si elle a d'abord été mise en mouvement, ce mouvement demeure uniforme. Si la puissance l'emporte sur la résistance, le mouvement s'accélère dans le sens où agit la puissance. Dès que la résistance l'emporte, le mouvement est retardé. Bientôt la machine s'arrête et prend même, quand les liaisons le permettent, un mouvement inverse.—Interm., 1924.

Dans le cas du glissement, le frottement est parfaitement déterminé.

Supposons qu'un solide en mouvement terminé par une surface S soit en contact avec un solide S^1 par un point A ; s'il y a frottement, la réaction de S^1 sur S se décompose en deux forces : l'une normale N, qui se nomme *réaction normale*, et l'autre tangentielle, F, qui est la force de frottement. La force de frottement F est assujettie aux trois lois suivantes :

1° La force de frottement est dirigée en sens contraire de la vitesse relative du point matériel situé en A par rapport à S^1 ;

2° Elle est indépendante de la grandeur de cette vitesse ;

3° Elle est proportionelle à la réaction normale, $F = fN$. Ce coefficient f est le coefficient de frottement de S sur S^1 ; il est un peu plus petit que le coefficient de frottement au départ. —Interm., 1924.

SECTION IV. GEOLOGY

La diagénèse

Minerai de fer des marais.—Il existe encore des phénomènes de réduction où les composés du soufre n'entrent pas en jeu et où il s'agit de la transformation du sesquioxyde de fer Fe^2O^3 en protoxyde FeO, c'est-à-dire en un oxyde moins riche en oxygène que le premier. Ici encore l'oxygène est employé par des Bactéries à la production d'acide carbonique.

Cette réduction est particulièrement fréquente dans les eaux douces, où elle aboutit parfois à la formation de véritables minerais de fer, connus sous le nom de *fer des marais*.

Les Végétaux qui croissent sur un sol riche en sesquioxyde de fer ou en hydrate de fer se décomposent après leur mort en transformant cet oxyde ferrique en oxyde ferreux, qui se combine immédiatement avec l'acide carbonique formé par les Bactéries pour donner naissance à du carbonate de fer, $FeCO^3$. Ce carbonate est entraîné en dissolution dans des lacs ou dans des étangs, où il se décompose de nouveau par oxydation, donnant naissance à un hydrate ferreux, $Fe^2(OH)^6$, la limonite, qui forme des dépôts ocreux plus ou moins épais jusqu'à une profondeur de dix mètres environ au-dessous de la surface des eaux.

Il est probable que des dépôts analogues se forment dans la mer par l'apport d'eaux contenant du carbonate de fer en dissolution.

Ajoutons que certaines Bactéries filiformes vivant dans les eaux douces empruntent directement le fer hydraté aux eaux ferrugineuses et le fixent dans leurs cellules.

Formation des carbures d'hydrogène.—Parmi les produits de la décomposition des matières organiques nous avons cités les carbures d'hydrogène. Tout le monde sait que la décomposition des matières végétales dans les eaux douces donne naissance à du gaz des marais ou méthane. Partant

de cette donnée première, beaucoup de géologues ont supposé, dès le commencement du siècle dernier, que les carbures d'hydrogène qui se rencontrent dans la nature ont une origine organique, tandis que d'autres savants, au premier rang desquels il convient de placer Mendéléeff, Moissan et Paul Sabatier, admettent une origine volcanique des mêmes substances, qui est d'ailleurs incontestable dans quelques cas particuliers, comme nous le verrons plus loin.

Ces carbures d'hydrogène naturels sont : 1° le méthane, qui s'échappe du sol en jets inflammables, véritables sources de gaz ou puits de feu ; 2° les pétroles, carbures d'hydrogène liquides, de composition variée, mélange d'homologues supérieurs du méthane et de l'éthane (C^nH^{2n+2}) ; 3° l'ozocérite, ou cire minérale, mélange d'hydrocarbures solides.

L'asphalte est un produit d'oxydation des pétroles.

La théorie de l'origine organique des carbures naturels n'a trouvé une base solide qu'à dater du jour où C. Engler obtenait un produit analogue au pétrole en distillant de l'huile de foie de morue sous des pressions de 20 à 25 atmosphères et à des températures de 360 à 420°.

On peut admettre que la plupart des pétroles résultent de la distillation naturelle sous pression des matières grasses formant le résidu de la décomposition de cadavres d'animaux. La distillation en vase clos est réalisée par l'enfouissement des cadavres sous une couche de sédiments.

Pour expliquer les gisements de pétrole les plus riches il faut supposer des accumulations de très nombreux cadavres tués subitement par diverses causes, parmi lesquelles la plus fréquente a sans doute été un changement brusque dans la salure des eaux. C'est ainsi, par exemple, que les Poissons entraînés par un courant de la Caspienne dans l'Atchi-Daria sont tués en masse par les eaux beaucoup plus salées qu'ils rencontrent. Leurs cadavres sont charriés au rivage ou s'accumulent au fond du golfe, se mêlant au sédiment. L'extrême lenteur de la décomposition qu'ils subissent est due à la salure élevée du milieu ; elle constituerait une condition essentiellement favorable à la formation de pétroles, si un brusque et intense apport de sédiments détritiques venait recouvrir les cadavres accumulés (Androussow).

Ochsenius a attribué aux eaux mères et surtout au sulfate de magnésium, particulièrement toxique pour les Animaux marins, la mort brusque des Animaux qui ont donné naissance

aux huiles minérales ; mais les analyses de Höfer ont montré que les pétroles de toutes provenances renferment, presque sans exception, des quantités assez élevées de chlorure de sodium, tandis que les sels de potassium et de magnésium s'y trouvent en quantités tout à fait négligeables.

Ce n'est sans doute que dans des cas tout à fait exceptionnels, comme dans celui de la lagune permienne du Mansfeld, que des eaux chargées de sulfates ont déterminé la mort brusque de nombreux Animaux marins et, dans ce cas particulier, les quantités d'huiles minérales qui accompagnent les sulfures sont assez insignifiantes.

L'accumulation d'Animaux marins morts de mort naturelle a certainement suffi maintes fois à donner lieu à la formation de quantités assez appréciables de carbures d'hydrogène. Potonié a donné le nom de *sapropèles* à des accumulations de Végétaux microscopiques et de cadavres d'Animaux avec leurs excréments, qui formeraient d'après lui la matière première des *roches bitumineuses.* Les schistes carburés doivent probablement leur richesse en *huile de schiste* à ce qu'ils ne sont autre chose que des boues de putréfaction. Les calcaires bitumineux résultent de même d'un mélange de boue calcaire et de sapropèle. On rencontre les schistes bitumineux dans des formations géologiques de tout âge et souvent dans des conditions de gisement qui excluent toute action cataclysmique.

Des entassements de débris végétaux ont pu aussi, dans bien des cas, donner naissance à des huiles minérales, et c'est surtout dans les eaux douces que le phénomène paraît être fréquent. Engler a même réalisé expérimentalement la production de pétrole et de paraffine en distillant des bouillies végétales recueillies dans des marécages.

La grande richesse de certains bassins pétrolifères s'explique d'ailleurs par une concentration des produits de distillation en dehors de leur gisement primitif, dans des couches perméables qu'ils ont imprégnées graduellement et d'où ils s'échappent sous pression.

ÉMILE HAUG, *Traité de Géologie.* I : *Les Phénomènes géologiques.* Paris : Armand Colin.

L'ACTIVITÉ DES VOLCANS

Les volcans d'Auvergne sont considérés comme éteints ;

cependant le sol sur lequel ils se dressent laisse encore exhaler de nombreuses sources dont beaucoup sont très chaudes, commes à Chaudes-Aigues, et d'autres très carboniquées, comme à Saint-Nectaire ; on y voit des sorties de gaz carbonique, comme à la grotte du Chien de Royat. Et il serait peut-être imprudent d'affirmer qu'aucun réveil n'est désormais possible.

L'Auvergne est d'ailleurs bien loin d'être le seul pays qui présente des volcans éteints ; l'Eifel, sur les bords du Rhin, une portion de la Catalogne, en Espagne, une partie de la Hongrie, pour ne citer que des exemples européens, et beaucoup d'autres contrées dans toutes les parties du monde sont dans le même cas.

Parfois aussi on retrouve des vestiges moins complets des mêmes actions, mais qui ne sont pas moins certains : ils se rapportent à des volcans plus anciens encore, et l'on conçoit qu'au bout d'un temps suffisant toute trace des cratères doit disparaître, ces accumulations de lapulis n'offrant aucune résistance aux causes extérieures de dégradation du sol. Dans bien des cas, les coulées de lave elles-mêmes sont supprimées de la même façon et il ne reste de l'appareil volcanique que des portions souterraines consistant dans les poussées de roches éruptives. Ce sont surtout des filons ou dykes, des nappes plus ou moins stratifiées et des amas parmi lesquels les plus remarquables ont été étudiés aux États-Unis et au Caucase sous le nom de *laccolithes.*

On ne les a pas tout de suite reconnus et cela se comprend : en effet, nous ne pouvons observer les racines des volcans actuels et il fallait découvrir un trait commun entre les deux catégories de volcans, dont chacune nous offrait un sujet d'étude qui manquait dans l'autre. Ce trait d'union a été procuré par des lits de cendres volcaniques (cinérites), bien reconnaissables malgré leur grand âge, et dont la détermination permet d'affirmer, malgré les idées systématiques opposées, émises d'abord, que le phénomène volcanique s'est accompli sans interruption depuis la plus haute antiquité géologique.

Non seulement les anciens volcans présentent des coulées et des cendres, mais on y a reconnu tous les autres traits des volcans modernes et, parmi ces traits, il faut mentionner d'une façon particulière ce qui concerne la reconnaissance des anciennes fumerolles.

On a déjà dit, pour les volcans d'aujourd'hui, que les

fumerolles observables ne sont certainement qu'un très faible indice de phénomènes considérables qui se développent en profondeur. Les volcans anciens le démontrent pleinement.

Par exemple, on a vu qu'à la surface du cône du Vésuve, il se dépose des traces de fer oligiste dont l'histoire chimique a été si complètement révélée par Gay-Lussac. Eh bien! on trouve que les anciens volcans renfermaient dans leur laboratoire profond d'énormes accumulations du même minéral. Parmi ces accumulations, l'une des plus célèbres, située à Rio la Marina, dans l'île d'Elbe, est exploitée depuis l'antiquité sans que sa richesse ait été diminuée. Des gisements comparables se trouvent à Framont (Vosges), en Suède, dans le Cornwall, etc.

Au même type se rattachent aussi les mines qui fournissent l'étain. Ces *gîtes stannifères*, comme on les a appellés, en y comprenant les gîtes d'oligiste et les autres amas constitués de la même matière, présentent des caractères bien particuliers. Ils sont subordonnés aux roches anciennes, parce qu'ils n'ont pu se produire en abondance qu'à une profondeur compatible avec l'abondance des éléments nécessaires à leur production et avec la température suffisante à la réaction. Non seulement ils contiennent les oxydes de fer et d'étain déjà mentionnés, parfois réunis,—plus ordinairement développés en des localités distinctes—mais on y trouve encore le fer magnétique, des métaux natifs comme le platine et parfois l'or (qui peut dériver aussi d'autres réactions), des sels métalliques comme le fer chromé et des sulfures comme la pyrrhotine. Les gîtes stannifères sont aussi extrêmement remarquables par la nature spéciale de leurs gangues pierreuses, parmi lesquelles l'on recontre très fréquemment, comme échantillons des atmosphères génératrices, des éléments qualifiés de minéralisateurs par excellence et, avant tout, le chlore, le fluor, le bore et le phosphore. C'est ainsi que dans la série de ces gangues de l'étain, à part le quartz qui est doué de l'ubiquité géologique, on recueille la topaze, le mica fluoré, la tourmaline qui est borée, l'apatite qui contient à la fois du chlore, du fluor et du phosphore, la fluorine, la turquoise et des silicates remarquables par la nature de leur base, comme l'émeraude qui renferme du glucinium.

Les roches au voisinage desquelles se sont développées les réactions stannifères ont d'habitude été profondément altérées et, de feldspathiques qu'elles étaient d'abord, transformées, ou

bien en kaolin (et c'est ce qui a lieu dans la plupart des pays à étain), ou bien en sulfates d'alumine (alunite, aluminite, etc.).
STANISLAS MEUNIER, *Géologie.* Paris : Vuibert.

FACIES DES TERRAINS DANS LE MASSIF CENTRAL

Nous aurons peu de choses à dire sur les facies des terrains dans le Massif Central : facies que nous nous sommes déjà trouvé mentionner incidemment en en racontant l'histoire. Ceux qui occupent, nous l'avons dit, de beaucoup la plus grande étendue, sont ceux, d'âge indéterminé, qui ont pris le type cristallophyllien. Cette cristallinité de leurs minéraux constituants les rend faciles à distinguer de tous les autres. Il est plus délicat d'établir entre eux des classifications stratigraphiques, où l'on risque de se laisser illusionner par les seuls effets d'un métamorphisme régional ou local plus ou moins avancé.

Cette remarque s'applique spécialement au type des *gneiss* que l'on a toujours eu une tendance à considérer comme particulièrement ancien et qui, en effet, se trouve souvent occuper la base des séries locales ou l'axe de certains anticlinaux, simplement parce que ces roches sont là plus voisines des influences profondes auxquelles est attribuable leur apparence actuelle. Les gneiss proprement dits, exempts d'intercalations micaschisteuses, sont très rares. Beaucoup d'aspects gneissiques se trouvent immédiatement explicables par la pénétration de magmas granitisants dans des schistes, dont on voit encore des esquilles subsister au voisinage. Ailleurs, des roches zonées et feuilletées analogues à des gneiss sont attribuables aux actions de laminage mécanique qualifiées de dynamo-métamorphisme.

Les *micaschistes* se caractérisent par la continuité de leurs membranes micacées qui couvrent des surfaces entières de leurs feuilles gaufrées ou ondulées. On trouve presque toujours, mélangées avec eux, des quarzites noirs. Dans divers cas, ils occupent des synclinaux, par exemple sous le houiller de Saint-Étienne, celui de Sainte-Foy, celui de Noyant et Fins, et se présentent donc à un niveau stratigraphique plus élevé que les gneiss, sans qu'on ait le droit d'en rien conclure sur la stratigraphie initiale des terrains ainsi transformés.

Une série particulièrement importante est celle des *gneiss à amphibolites* et à *leptynites,* dans lesquels s'intercalent les

bancs vert sombre ou noirs des amphibolites (presque toujours décomposés en argile jaune aux affleurements), ou ces bancs durs à grain fin rayés de minces bandes parallèles roses noires ou vertes qu'on appelle les leptynites. Il n'est pas rare de voir apparaître, en même temps, des diorites (parfois quartzifères) aux teintes également vertes et accompagnées de serpentines, des bancs graphiteux, ou encore des lentilles très restreintes de calcaire dit cipolin. Parfois, ailleurs, on a des terrains dont le métamorphisme est moins avancé : soit parce qu'ils sont plus récents, soit parce qu'ils se sont trouvés dans des conditions tectoniques différentes, à plus grande distance des influences internes métamorphisantes. On observe alors des phyllades analogues à ceux du précambrien breton, parfois même des schistes à peine micacés mélangés de grès.

Enfin il ne faut pas oublier la présence locale de bancs ayant subi cette sorte de laminage à la base des lames charriées qui en a fait des brèches appelées *mylonites*. Des roches de ce genre ont été reconnues, par exemple, dans la région de Saint-Étienne, ou le long du sillon de fracture qui va de Corrèze à Bourganeuf, ou encore près Montluçon. Nous les citons ici parce qu'on les trouve généralement associées avec des facies archéens ; mais leur aspect actuel résulte des mouvements hercyniens et a pu s'appliquer à tous les terrains antérieurs.

Le *dévonien*, très localisé, se compose de quelques grès ou schistes sombres, avec minces lentilles de calcaires coralliens.

Le *carbonifère inférieur* présente deux aspects qui le font aisément distinguer des autres groupes. Ce sont d'abord des schistes et grès assez incohérents, et salis par des débris végétaux, avec courts lambeaux charbonneux sur lesquels on a fait des tentatives d'exploitation infructueuses, ou des arkoses à fragments anguleux passant à des poudingues et à des brèches. Ce sont ensuite des tufs porphyritiques explicables par la consolidation ultérieure de projections cendreuses dues aux volcans carbonifères et souvent si cristallins que, faute d'être prévenu, on pourrait les prendre pour des granites sombres et à grain fin.

Le *carbonifère supérieur*, ou houiller productif, se reconnaît immédiatement à ses alternances de grès, de schistes et de poudingues à galets toujours inégaux, souvent énormes, ainsi qu'aux teintes noires venant de lits charbonneux. La stratification, d'origine lacustre, en est très irrégulière. La houille ne s'y trouve pas par bancs minces et bien stratifiés

comme dans le Nord ou le Pas-de-Calais, mais en lentilles et en boules. Ces terrains sont plissés : ce qui les distingue également de tous les dépôts postérieurs.

Le *permien*, visible seulement sur les bords du Massif Central, se caractérise souvent par la présence de grès et conglomérats rubéfiés. Ailleurs cependant, il prend des caractères analogues à ceux du houiller, mais en diffère par sa stratification beaucoup plus régulière et restée presque horizontale, par ses couches de schistes bitumineux, de calcaires et de silex fétides, par ses bois silificiés.

Quand aux *terrains tertiaires* qui succèdent directement au permien, ils tranchent sur tous les terrains précédents par leurs couleurs claires, par l'abondance des calcaires blancs et des marnes, par la présence, quand on atteint le miocène ou surtout le pliocène, de couches sableuses encore meubles. Parmi eux, l'aquitanien lacustre est particularisé par ses boules de calcaire concrétionné et ses tubes de phryganes.

L. DE LAUNAY, *Géologie de la France.* Paris : Armand Colin.

LE MORCELLEMENT DES COQUILLES ET SES CAUSES

Le micrographe qui débute dans l'étude des plaques minces de roches sédimentaires est tenté de faire aux agents dynamiques, dans le morcellement des coquilles, une part de beaucoup supérieure à la réalité. Tout bien considéré, la fragmentation des coquilles et la dissociation des éléments du squelette de certains Invertébrés sont l'œuvre de phénomènes infiniment variés. Sans vouloir traiter à fond cette question des plus complexes, il me paraît nécessaire d'en exposer les grandes lignes avant de passer en revue les divers groupes de végétaux et d'animaux qui concourent à la formation des sédiments.

A. Fragmentation d'origine mécanique.—Elle s'opère à très grande échelle dans la zone littorale aux dépens des différents groupes, sous l'influence des vagues, des courants et des marées. Toutes choses égales d'ailleurs, la résistance des coquilles à ce mode de fractionnement est naturellement fonction de leur structure. A cet égard, le squelette de nombreux Coraux se montre particulièrement fragile (boue corallienne) ; au contraire, les Échinodermes offrent une très grande résistance. Par ailleurs, les différences de structure introduisent dans les produits du morcellement une grande

variété d'aspect ; on conçoit en effet qu'une structure feuilletée imprime au débris une physionomie tout autre qu'une structure prismatique ou fibreuse.

A ce sujet, il est à noter que certains groupes d'organismes sont susceptibles de se rencontrer dans les roches en éléments de toutes dimensions, depuis les morceaux visibles à l'œil nu jusqu'aux produits ultimes de la trituration (ou de la désagrégation) ; tels sont les Bryozoaires et les Polypiers. D'autres ne sont représentés que par des restes relativement volumineux ; en tout cas, leur fragmentation tend vers une limite, fort éloignée, semble-t-il, de la réduction des organismes en poudre impalpable : c'est le cas pour les Mollusques, les Brachiopodes et les Échinodermes. Par exemple, dans un calcaire à morceaux de Brachiopodes, il y a une sorte d'hiatus entre le ciment plus ou moins fin et les débris reconnaissables à leur microstructure. Au contraire, pour les Bryozoaires on peut noter toutes les transitions entre les parties les plus fines du ciment et les gros fragments. De sorte qu'on est tenté, par continuité, de rapporter la totalité du ciment à des Bryozoaires réduits en bouillie. Or cette continuité peut nous induire en erreur, et il est avéré qu'elle nous trompe parfois. S'il existe, en effet, de nombreuses algues calcaires (Coccolithes, Rhabdolithes, etc.), il est impossible d'en reconnaître une seule dans les coupes minces, alors que par dissociation des éléments on peut s'assurer sans peine que les menus vestiges de Bryozoaires sont accompagnés d'une foule de corpuscules calcaires se rapportant à ces algues.

Comme cas particulier du morcellement d'origine mécanique, il faut citer celui des organismes qui ont été la proie d'autres animaux, et dont les débris se retrouvent dans les coprolithes, par exemple.

B. Fragmentation par dynamométamorphisme.—Les mouvements de refoulement horizontal qui engendrent les montagnes ont souvent marqué leur empreinte sur les organismes. En comprimant, laminant et broyant les roches, ils déterminent la fragmentation d'une multitude de coquilles. Il arrive souvent que les restes d'un Foraminifère donné se retrouvent côte à côte, ou à faible distance les uns des autres, et qu'il soit possible de le reconstituer dans sa totalité en les rapprochant par la pensée. La dispersion des débris organiques augmente bien entendu avec l'importance des mouvements relatifs, et ceux-ci peuvent les entraîner fort loin

les uns des autres. Dans cet ordre de faits, ce qui frappe avant tout l'observateur, c'est que le morcellement *in situ* des coquilles, pour fréquent qu'il soit en pays de montagnes et surtout dans les terrains charriés, n'est pas, et tant s'en faut, la règle générale, même quand les terrains ont subi un transport considérable. L'influence des phénomènes de charriage sur la microstructure des sédiments et l'état de conservation des organismes est un sujet qu'on a beaucoup trop négligé jusqu'à présent, et dont il est permis d'espérer quelque lumière sur le mode de participation des strates aux mouvements d'ensemble.

C. Dissociation des éléments du squelette par destruction de la matière organique (Sorby).—Les nombreux organismes dont le squelette se résout en pièces, simplement maintenues en place par de la matière organique, sont voués à une destruction rapide, à moins qu'ils ne bénéficient de conditions de fossilisation absolument exceptionnelles. Dans le cas général, la disparition de la matière organique est le signal de la désagrégation des éléments, et pour peu que l'eau soit agitée, ceux-ci se dispersent et s'accumulent confusément pour engendrer de véritables dépôts. De ce nombre sont les Encrines, aux articles libérés mais non fragmentés, immédiatement après la mort de l'animal.

Le même sort est réservé à certains Lamellibranches, tels que *Pinna*, *Inoceramus*, etc., lesquels mettent en liberté une multitude de prismes, par décomposition de leur matière organique.

Dans tous ces exemples, il s'agit, en somme, de la dissociation d'éléments préexistants, gardant leur individualité, après comme avant leur séparation. Tout différent est le cas de nombreux Polypiers qui se réduisent en granules lorsque la matière organique disparaît.

Conformément aux observations de Sorby, le processus en question engendre, suivant la nature des organismes mis à contribution, tantôt des dépôts à gros éléments (Échinodermes) tantôt des sédiments à grain fin (Polypiers).

D. Fragmentation par transformation de l'aragonite en calcite.—Sorby a montré qu'un Polypier pulvérisé, conservé dans l'eau pendant quelques semaines seulement, perd sa matière organique, diminue de densité et se trouve partiellement transformé en calcite. Un pareil changement d'état entraîne la formation de particules tellement fines que

l'eau prend l'aspect d'un liquide laiteux. Examiné au microscope, le produit engendré ne trahit en rien son origine organique.

M. LUCIEN CAYEUX, *Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires.* Ministère des travaux publiques. Paris : Imprimerie Nationale.

EXAMINATION PAPERS, UNIVERSITY OF LONDON

Ces plissements, qui ne s'observent que sur le pourtour de la cuvette parisienne, sont cependant fort intéressants à connaître pour la géologie du Bassin de Paris. En effet, antérieurs au dépôt des terrains secondaires et tertiaires de ce bassin, ils n'ont évidemment pas affecté ces terrains; mais ils paraissent avoir servi en quelque sorte de guide aux plis qui se sont produits ultérieurement et qui, eux, ont affecté tout ou partie des terrains secondaires et tertiaires. Ces plis ultérieurs se sont moulés sur les plis anciens et ils ont épousé leur direction. Aussi a-t-on pu dire d'eux avec Suess qu'ils étaient des *plis posthumes.* On peut dès lors, de la direction des plis qui affectent les couches secondaires et tertiaires, déduire celle des plis très anciens, de nature différente, qui intéressent les couches primaires.—Interm., 1923.

On sait que, de nos jours, les manifestations volcaniques sont habituellement suivies par des dégagements solfatariens et thermominéraux, qui donnent lieu, dans leur canaux d'ascension, au dépôt de diverses substances. C'est à des émanations du même genre, survenues à la suite des anciennes périodes éruptives, qu'est due la formation de la plupart des gîtes métallifères. Leur allure ordinaire est celle de filons, c'est-à-dire de fentes ouvertes à travers les terrains de l'écorce terreste et remplies après coup par des minerais métalliques, le plus souvent des sulfures, associés à des gangues pierreuses. Les fentes où s'établissent les filons métallifères sont généralement très inclinées et voisines de la verticale. Elles résultent des efforts de tension et surtout de torsion, auxquels les parties les plus résistantes de l'écorce ont été soumises lors de la formation des montagnes.—Interm., 1923.

Dans ces dernières années, les géologues et les géographes ont beaucoup parlé d'un *système tétraédrique,* conçu d'ailleurs de bien des façons différentes suivant les auteurs qui s'en sont

faits les défenseurs. Les premiers, comme Richard Owen et Lowthian Green, avaient surtout en vue l'interprétation de certaines formes géographiques de la surface terrestre et notamment la forme en pointe des trois continents de l'hémisphère sud. Ils supposent qu'en se refroidissant la Terre tend vers une figure géométrique à quatre faces, le tétraèdre, qui, de tous les solides, possède, à surface égale, le plus faible volume. Pour se rapprocher davantage de la forme sphérique, on suppose ce tétraèdre à arêtes courbes et on superpose à chaque face une pyramide à trois ou à six faces très surbaissée ; on a alors un tritétraèdre ou un hexatétraèdre à faces courbes, que l'on peut appeler un tétraèdroïde.—B.Sc. Hons., 1923.

Dans la série des terrains sédimentaires, on ne rencontre qu'exceptionnellement des faciès correspondant à ceux qui, dans les mers actuelles, sont propres à la région abyssale. Plusieurs auteurs ont cherché, il est vrai, à établir des analogies entre la vase à Globigérines et la craie blanche, entre la vase à Diatomées et les tripolis du Néogène de Sicile, entre la vase à Radiolaires et certaines roches silicieuses des terrains primaires et secondaires, entre la vase rouge abyssale et les argiles ou marnes rouges dites garumniennes du Midi de la France. Rien n'est plus inexact que de pareilles identifications, car les êtres du plankton peuvent se rencontrer dans tous les sédiments marins, quelle que soit la profondeur à laquelle ces sédiments se sont formés. D'ailleurs les Foraminifères de la Craie ne sont pas des formes planctoniques ; ce sont, comme on l'a vu plus haut, des Foraminifères de fond, des types benthoniques, ayant vécu dans des eaux peu profondes.—Interm., 1924.

SECTION V. BOTANY

CHLOROPLASTIDES

Les plastides amylogènes verdissent souvent à la lumière. Ces plastides colorés (chromatophores) sont nommés *chloroplastides* ; ils sont verts, imprégnés de chlorophylle, mais perdent cette dernière par un séjour prolongé à l'obscurité (étiolement). L'alcool fort les décolore, en extrait le pigment et laisse le stroma. Il y a donc toujours lieu de faire le départ entre ce qui est propre au plastide et ce qui dépend du pigment. On a étudié le rôle de ce pigment dans le phénomène de la photosynthèse. Celui du plastide vient d'être dêcrit.

On a souvent confondu les deux phases de l'amylogénèse, vu la coexistence des fonctions d'assimilation du CO_2 et de la condensation du sucre formé, en amidon.

Dans certains pseudo-bulbes d'Orchidées (*Calanthe Sieboldi*), les plastides verts sont fusiformes ; il en est qui n'ont du pigment qu'aux deux extrémités. Cependant l'amidon se forme de préférence dans la région incolore du chromatophore. Ici, les deux fonctions sont donc délimitées, celle de la réduction de l'anhydride carbonique sous l'influence de la radiation lumineuse à la région colorée, celle de la condensation du sucre formé au plastide incolore.

Il est généralement plus facile d'observer l'apparition de l'amidon dans les plastides verts que dans les plastides incolores. Parmi les objets les plus avantageux à étudier, on peut citer les feuilles des Mousses, les prothalles des Fougères, les tiges du *Pellionia Davauana*, etc.

Les chromatophores verts ou chloroleucites varient de forme chez les différentes plantes ou même dans les différentes parties d'une même plante. Chez les Phanérogames, ils sont généralement en petits disques ; dans quelques *Selaginella* ils sont en forme de coupe. Mais c'est surtout chez les Algues vertes que leurs formes sont variées. En disques nombreux,

lenticulaires dans les Trentepohliacées, les Cladophoracées, ils sont en lames quadrangulaires allongées dans les *Mougeotia*, en lames festonnées et spiralées dans les *Spirogyra*, en corps étoilés dans les *Zygnema*, en plaque perforée dans certaines cellules de *Draparnaldia*, etc.

Pour autant qu'on le sait, les chloroplastides, comme les autres plastides, se multiplient par division. S'ils sont en disques, on les voit alors s'allonger, s'étrangler dans leur milieu et, par conséquent, se diviser par fractionnement. On a beaucoup discuté sur leur origine ; naissent-ils *de novo* du plasma de la cellule primitive ou sont-ils préformés dans l'œuf sous forme de granulations (microsomes, mitochondries) ?

Les uns les font dériver des mitochondries, tandis que d'autres auteurs font les objections suivantes : L'acide acétique qui fixe les plastides dissout les mitochondries. Le nombre des mitochondries est beaucoup plus élevé que celui des plastides, plastides incolores et plastides verts. Les champignons, qui ne produisent jamais de plastides, montrent des mitochondries caractérisées. Dans les Algues, les Mousses et les Hépatiques, où l'on peut suivre à partir de l'œuf toute la filiation des plastides, de même qu'à partir de la cellule mère terminale, ou des cellules sporogènes qui continuent des plastides, les chloroplastides sont certainement dérivés de plastides habituels et non de mitochondries. Enfin, par centrifugation, on peut obtenir des cellules dépourvues de chloroplastides (*Spirogyra, Zygnema, Mnium, Elodea*) qui restent vivantes sans que les mitochondries soient capables de régénerer les plastides.

C'est donc une question encore discutable.

Chez les unicellulaires (Algues : Volvocinées, Protococcacées), il est certain que ce sont des membres permanents des cellules et qu'ils ne naissent que par division.

Dans quelques chloroplastides (*Achyranthes, Hedera*, etc.), on voit apparaître dans leur intérieur des cristalloïdes, sorte d'albumine cristallisée, dont les cristaux se gonflent dans l'eau. Chez beaucoup d'Algues vertes, ce cristalloïde prend une place définie ; il est isolé, ou plusieurs de ces corps sont parsemés dans le chloroplastide. Tout autour se forme une membrane plasmique dans laquelle on a voulu voir un organe indépendant, mais qui n'est sans doute que l'analogue du tonoplasme du protoplasma. L'amidon se dépose parfois autour de ce cristalloïde en une sphère ou en plusieurs grains.

Ce complexe, facile à etudier chez les *Spirogyra,* a reçu le nom de *pyrénoïde.*

Il existe des pyrénoïdes sans amidon comme ceux de *l'Hydrurus penicillatus.* Les pyrénoïdes se multiplient par division ; mais parfois ils disparaissent et naissent *de novo.* Ce sont des réserves.

R. CHODAT, *Principes de botanique.* Paris : J. B. Baillière et Fils.

LA FLEUR DES ASCLÉPIADÉES

La famille des Asclépiadées, chez laquelle il existe aussi des pollinies, offre un mode de pollinisation qui a été diversement interprété. Dans le *Vincetoxicum officinale* à l'intérieur d'un calice à cinq divisions profondes et d'une corolle rotacée à cinq pétales se trouvent cinq étamines fixées sur le tube de la corolle. La structure de ces étamines est particulièrement compliquée. Les filets soudés en un tube qui entoure le pistil portent à leur sommet les anthères et en dehors cinq fossettes nectarifères dont l'ensemble forme une couronne staminale. Les cinq anthères rangées en tube sont appliquées contre les angles du stigmate. Les connectifs élargis sont infléchis sur le stigmate et prolongés de chaque côté en lames qui, en se rejoignant, achèvent presque d'obturer l'accès vers le stigmate. Dans chaque loge de l'anthère, le pollen est aggloméré en une pollinie. Les deux carpelles indépendants dans la région ovarienne sont soudés plus haut en un style unique renflé en une grosse tête stigmatique aplatie et pentagonale, dont les angles portent chacun un double corpuscule visqueux, sorte de rétinacle auquel adhèrent deux caudicules attachées chacune à l'une des pollinies de deux anthènes voisines. Les cinq angles saillants du stigmate sont séparés par cinq sillons qui représentent les seules surfaces papilleuses du stigmate et méritent le nom de chambres stigmatiques.

Les plus anciens observateurs pensaient que les pollinies germent sur place le long des caudicules ou que les insectes qui visitent fréquemment ces fleurs déplacent les pollinies à l'intérieur de la fleur et les amènent au contact du stigmate. Mais à la suite des recherches de Hildebrand, la plupart des observateurs ont admis que la pollinisation croisée est la règle dans ces plantes ; les insectes tout en butinant le nectar emportent attachées à leur trompe ou à leurs pattes les pollinies

et les déposent sur d'autres fleurs dans les intervalles des anthères. Richer a d'ailleurs demontré que l'autogamie et la gitonogamie sont stériles dans cette plante.

F. PÉCHOUTRE, *Biologie florale*. Paris : Gaston Doin et Fils.

NECTAIRES FLORAUX. STRUCTURE ET SÉCRÉTION

Les nectaires floraux, portés par les pièces florales, sont formés par un tissu sécréteur le plus souvent superficiel et composé de cellules épidermiques transformées, papilleuses ou palissadiques et disposées en une surface plane, déprimée ou en relief. Fréquemment le parenchyme sous-épidermique à parois minces participe en même temps à la sécrétion du nectar. L'assise la plus externe du nectaire possède souvent des stomates qui, d'après Behrens, fonctionnent comme soupapes pour l'élimination du liquide.

Deux processus distincts se succèdent dans la formation et la sortie du nectar : d'abord, la sécrétion superficielle d'une substance fortement osmotique qui exerce une sorte de succion sur les liquides internes et, en second lieu, l'élimination de l'eau ainsi attirée et qui, par dissolution de la substance osmotique, conduit à la formation du nectar. La substance osmotique, le sucre, provient soit de la métamorphose chimique de certaines couches de l'assise externe des cellules, suivie de l'éclatement de la cuticule, soit des cellules mêmes du nectaire qui rejettent ces substances capables d'exercer une attraction sur le contenu liquide de la cellule. L'élimination cesse dès que les substances osmotiques ont diminué par dilution dans l'eau et recommence dès que l'on place sur la surface du nectaire un fragment de sucre humide. Dans la Fritillaire impériale, les nectaires relativement grands se rencontrent facilement sous forme de godets à la base des pièces du périgone. Ils contiennent un jus sucré, renfermant du glucose, comme on peut aisément s'en assurer en lavant la base de quelques feuilles du périgone avec un peu d'eau et en portant le liquide obtenu dans la liqueur de Fehling bouillante. On lave ensuite très soigneusement et à plusieurs reprises avec de l'eau pure les nectaires de plusieurs pièces du périgone de Fritillaire, puis on les sèche avec un linge mou et on dépose ces pièces florales sous une cloche de verre. Dans les nectaires de quelques-unes d'entre elles on porte un petit

grain de sucre mouillé ; les autres n'en reçoivent point. Au bout de quelques heures, les premiers contiendront de nouveau un liquide sucré, tandis que les derniers resteront secs. Le sucre attire donc par osmore l'eau des cellules des nectaires. Le nectar, riche en sucre, contient aussi en faible quantité de la gomme, de la dextrine. de la mannite et quelques substances azotées et phosphorées. La proportion d'eau, d'après Bonnier, est de 60 à 85 %.

Ibidem.

Intérêt systématique des parasites

L'uniformité de l'ordre des *Laboulbeniales* s'explique par l'enchaînement de ces parasites à des conditions strictes d'existence aux dépens des Arthropodes, et par l'étroite corrélation de leur structure et de leurs fonctions avec l'exploitation d'un milieu restreint et déterminé. D'autres Champignons parasites constituent des groupes non moins homogènes à côté de diverses classes de Champignons libres. Les Urédinées présentent à l'égard des Basidiomycètes les mêmes allures que les Laboulbéniacées à l'égard des Ascomycètes. La même remarque s'applique aux Péronosporinées, aux Entomophthorinées, aux Erysiphacées, aux Sphériacées, aux Lichens enveloppant les Algues qu'ils rançonnent. Chacune de ces séries parasitaires a pris une extension considérable comme les hôtes répondant à ses exigences ; elle varie dans les mêmes limites que le groupe hospitalier. Mais nous ne concevons pas qu'elle franchisse ces limites, et que, se libérant du parasitisme en brisant les chaînes dorées auxquelles elle doit sa richesse, elle puisse atteindre la dignité plus haute des Champignons indépendants.

Le parasitisme devient nécessaire aux êtres marqués de ses stigmates ; il leur ferme toute issue vers le perfectionnement en dehors de lui. A côté des ordres tels que les *Laboulbeniales* et les *Uredinales*, qui ont trouvé la fortune dans la dégradation parasitaire, que de genres isolés, que d'espèces frappées d'irrémédiable déchéance, par exemple les *Choreocolax*, les *Rhodochytrium* parmi les Caenomycètes de Ludwig, les *Plasmodiophora* parmi les Myxogastrées, les *Synchytrium* parmi les Chytridinées, les *Rafflesia*, ces Phanérogames dont le parasitisme rabaisse l'appareil végétatif au niveau des mycéliums !

Les groupes parasitaires, quelle qu'en soit l'étendue, se trouvent, par la nature même des perfectionnements qui leur sont propres, écartés de la voie du progrès général de l'évolution. C'est justement ce qui fait leur intérêt spécial en systématique. Soustraits aux vicissitudes qui comportent autant de causes de destruction que de chances d'elévation, ils subsistent comme des fossiles vivants, dépositaires des caractères archaïques, témoins des périodes éteintes dont la population libre n'a survécu qu'en variant.

PAUL VUILLEMIN, *Les Champignons.* Paris : Gaston Doin et Fils.

SEXUALITÉ ; CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES DES ASQUES ET DES ASCOSPORES, GERMINATION DES ASCOSPORES

La copulation qui précède la formation de l'asque dans certaines levures, les caractères morphologiques de l'asque et des ascospores, enfin le mode de germination de ces dernières ont une grande importance dans la caractérisation des genres.

C'est ainsi que l'existence d'une copulation a servi à Barker à créer le genre *Zygosaccharomyces*, caractérisé uniquement par sa sexualité. Sauf les *Schizosaccharomyces*, qui offrent aussi une copulation analogue, mais dont la forme et le mode de division cellulaire ne permettent pas de confusions, toute les levures dont l'asque résulte d'une copulation se rattachent au genre *Zygosaccharomyces*. Il est vrai que Klöcker a découvert récemment une nouvelle espèce dont il a fait un genre nouveau, *Debaryomyces globosus*, et où il a été constaté des phénomènes sexuels de même ordre. Mais cette espèce se distingue de toutes les autres levures par la forme spéciale de ses ascospores, forme qui a servi à Klöcker pour caractériser le genre *Debaryomyces*. Aussi, si l'on se trouve en présence d'une levure qui montre des processus sexuels à l'origine de l'asque et si cette levure se divise par bourgeonnement et n'offre pas d'ascospores à forme spéciale, on pourra donc la ranger en toute certitude dans le genre *Zygosaccharomyces*.

Dans *Nematospora coryli* et *Monospora cuspidata*, les asques offrent des dimensions beaucoup plus élevées et une forme beaucoup plus allongée que les cellules végétatives ; enfin ils sont pourvus d'un nombre fixe d'ascopores, 4 dans la première, 1 seule dans la seconde, ascospores dont la forme en fuseau ou en aiguille est tout à fait exceptionnelle et caractéristique de ces

deux genres. Dans d'autres levures (*Schwanniomyces, Torulaspora,* etc.), nous avons vu que l'asque se forme après une tentative de copulation.

Quelquefois la forme des ascospores est caractéristique : *en chapeau* chez *Willia anomola,* avec anneau saillant chez *W. Saturnus,* à membrane épineuse et anneau chez *Schwanniomyces.*

Ainsi donc l'existence de phénomènes de sexualité précédant la formation de l'asque, la forme des asques et des ascospores, suffisent a caractériser les genres *Nematospora, Monospora, Zygosaccharomyces, Debaryomyces, Schwanniomyces* et *Willia.*

Le mode de germination des ascospores fournit parfois de précieuses indications pour la détermination des espèces. Il a permis à Hansen de caractériser le genre *Saccharomycodes* dont les ascospores subissent généralement une copulation au début de la germination, puis se relient deux à deux par un canal de copulation ; ce canal s'allonge et produit de nouvelles cellules par un processus intermédiaire entre le bourgeonnement et le cloisonnement.

Mais pour le plus grand nombre des espèces, notamment la plupart des levures industrielles, la forme et la dimension des ascospores et leur germination ne présentent aucun signe distinctif qui soit utilisable pour différencier les espèces.

ALEXANDRE GUILLIERMOND, *Les Levures.* Paris : Gaston Doin et Fils.

PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX DE L'ÉVOLUTION SEXUELLE

Évolution morphologique d'ensemble.—Une Fougère adulte présente à la face inférieure de certaines feuilles de petites taches brunes appelées *sores.* Posées sur du papier blanc, les feuilles de Fougère laissent déposer une fine poussière de *spores.*

a) *Spore et gamétophyte.*—Chaque spore est une cellule, avec membrane, protoplasma et noyau ; sur le sol humide cette spore germe en se multipliant ; elle donne ainsi un massif de cellules vertes.

Si l'on étudie de près les premières divisions cellulaires, on voit apparaître un certain nombre de chromosomes et ce nombre restera constant pendant tout le développement du jeune organisme. (Je suppose *quatre* pour la Fougère étudiée.)

Cet organisme vert est bien différent de la Fougère adulte ; c'est une lame, en forme de cœur, fixée au sol par des poils absorbants ; on l'appelle *prothalle* : c'est le *gamétophyte*.

Les bords sont formés d'une seule assise de cellules ; la partie médiane, légèrement épaissie, forme le *coussinet*.

A la face inférieure de la lame vont apparaître des organes sexuels produisant des cellules sexuelles ou *gamètes*.

Quand on fait une coupe dans le coussinet d'un gamétophyte très jeune, on voit à la face inférieure, au milieu de cellules indifférenciées, certaines cellules particulières qui font saillie comme des poils. Ce sont les cellules *germinatives* ; elles peuvent donner deux sortes d'appareils sexuels, placés généralement côte à côte chez les Fougères : *anthéridies* ou organes mâles, *archégones* ou organes femelles.

b) *Formation des anthérozoïdes.*—Pour former les anthéridies, la cellule initiale donne un massif de cellules, à peu près sphérique, qui comprend une assise périphérique et une masse interne de cellules serrées les unes contre les autres, à protoplasme dense et qui sont les cellules-mères des anthérozoïdes.

A l'état jeune, l'une de ces cellules-mères renferme un protoplasme abondant avec un noyau à quatre chromosomes. On voit, à côté du noyau, un petit corps colorable qui est sans doute un centrosome ; on l'appelle *blépharoplaste*.

Puis, le noyau s'allonge, prend l'aspect d'une virgule, le blépharoplaste s'allonge, le protoplasme diminue de volume. Finalement, le noyau a une forme spiralée à plusieurs tours ; le blépharoplaste s'allonge en une longue bande qu'il n'est pas toujours facile de distinguer du noyau. Le protoplasme se dispose en une couche très mince qui entoure le noyau. Tout le long du blépharoplaste se développent des cils très fins. L'élément ainsi constitué est un anthérozoïde.

Caractères spéciaux des anthérozoïdes.—Les anthérozoïdes sont toujours de très petite taille ; le noyau les forme presque en entier, tandis que le protoplasme est très réduit. Ils sont toujours mobiles.

Lorsque les anthérozoïdes sont mûrs, la paroi de l'anthéridie se rompt et les anthérozoïdes sont mis en liberté. Ils nagent dans une goutte d'eau, sous le prothalle.

c) *Formation des oosphères.*—Un archégone dérive d'une cellule, semblable à celle qui donne l'anthéridie, mais dont l'évolution est un peu différente.

La cellule initiale donne un groupe de cellules en forme de

bouteille, avec une panse et un col. On y distingue des cellules périphériques et, au centre, des cellules à caractères embryonnaires ; ces dernières sont homologues des cellules-mères des anthérozoïdes. La cellule la plus profonde s'accroît et donne l'élément femelle ou oosphère. Les cellules du col se transforment en une masse mucilagineuse amorphe. Ainsi, le col est ouvert à son sommet et rempli de cette matière mucilagineuse ; et au centre de la partie renflée, se trouve une grosse cellule sans membrane, avec un noyau à quatre chromosomes.

Caractères de l'oosphère.—L'oosphère est toujours relativement grosse par rapport à l'anthérozoïde ; elle renferme un gros noyau et une masse abondante de protoplasme.

On donne aux deux éléments sexuels le nom de *gamètes*.

La formation des gamètes sur le prothalle marque la première phase du développement de la plante ; d'où le nom de gamétophyte donné à cette lame verte issue de la spore.

Fécondation.—Les anthérozoïdes mis en liberté dans une goutte d'eau y nagent quelque temps, puis ils semblent attirés par le col des archégones (chimiotactisme). On voit un grand nombre d'entre eux se précipiter vers le col, pénétrer dans le mucilage et l'un d'eux arrive jusqu'à l'oosphère ; il y a conjugaison.

Dans l'oosphère, on peut voir à ce moment deux noyaux ; un noyau femelle très gros, un noyau mâle spiralé ; l'oosphère est transformé en œuf. Le noyau mâle s'accole au noyau femelle ; il y a fusion des deux noyaux, et le noyau de l'œuf renferme huit chromosomes.

Un œuf est une masse protoplasmique entourée d'une membrane et renfermant un noyau d'origine complexe.

La fécondation a pour effet de constituer une cellule ayant deux fois plus de chromosomes que les cellules dérivées de la spore.

L'œuf, resté dans l'archégone, va commencer à se développer sur place en se multipliant. Il donne naissance en définitive à une Fougère capable de produire de nouvelles spores et que nous appelons pour cette raison *sporophyte*.

Le développement de l'œuf se fait à la façon ordinaire en donnant d'une part des cellules somatiques, d'autre part des spores.

NOEL BERNARD, *L'évolution des plantes*. Paris : Félix Alcan.

Plasmolyse

Au lieu de placer une cellule végétale dans de l'eau pure, introduisons-la dans des solutions de pression osmotique croissante ; tant que la pression du liquide extérieur sera inférieure à celle du suc cellulaire, il y aura turgescence, mais celle-ci diminuera au fur et à mesure que croîtra la pression externe ; lorsque les deux liquides seront isotoniques les échanges d'eau cesseront et la turgescence deviendra nulle ; il n'y aura aucune distension de la membrane cellulosique sur les deux faces de laquelle s'exerceront des pressions égales. Continuons à augmenter la force osmotique du milieu extérieur ; les échanges d'eau vont s'effectuer à nouveau, mais en sens inverse de ce que nous observions précédemment ; de l'eau va passer du suc cellulaire vers le liquide extérieur hypertonique ; le contenu cellulaire va par suite diminuer de volume et le protoplasme se contracter ; en fait on verra la vésicule protoplasmique se décoller de la membrane cellulaire, parce qu'en raison de sa rigidité celle-ci ne peut suivre ces mouvements de déformation ; quand le phénomène aura pris toute son ampleur, le cytoplasme, entouré de sa membrane semiperméable, n'occupera qu'une portion de la cavité limitée par la membrane cellulosique ; l'espace compris entre celle-ci et le sac protoplasmique sera rempli par de l'eau soustraite au suc cellulaire.

Le phénomène que nous observons dans ces conditions a été désigné sous le nom de *plasmolyse* ; on le met en évidence avec la plus grande facilité en s'adressant à des cellules dont le suc est coloré en rouge par de l'anthocyane ; en plaçant ces cellules dans une solution très concentrée (saccharose à 20 %, glycérine à 10 % . . .) la contraction du protoplasme est presque instantée et on observe alors une vésicule n'occupant qu'une faible partie du volume de la cellule et qui se trouve séparée de la membrane cellulosique par une large région incolore.

Si on emploi des solutions qui ne soient que légèrement hypertoniques par rapport au suc cellulaire, la perte d'eau éprouvée par la cellule est évidemment faible et ne se traduit que par un début de plasmolyse, se manifestant par un décollement local du cytoplasme d'avec la membrane cellulaire ; quand les cellules forment des tissus compacts et que leur contour est polygonal c'est aux angles que le décollement apparaît en premier lieu.

Si la plasmolyse d'une cellule est trop brusque, trop pro-

fonde ou trop prolongée, elle peut déterminer la mort de la cellule et on ne peut revenir sur le phénomène produit ; mais si elle ne dépasse pas certaines limites et qu'on vienne à reporter la cellule dans un milieu hypotonique, on voit se produire en sens inverse les déformations que nous venons de décrire, et la cellule conserve ses propriétés antérieures.

MARIN MOLLIARD, *Nutrition de la plante.* Paris : Gaston Doin et Fils.

EXAMINATION PAPERS, UNIVERSITY OF LONDON

Et d'abord, ce qui frappe lorsqu'on examine de près l'action des enzymes, c'est la disproportion énorme qui existe entre le poids de la matière active et celui de la substance sur laquelle agit cet enzyme. Une infusion de grains d'orge germés, par exemple, faite avec quelques individus seulement, peut liquéfier et transformer en matières sucrées solubles un poids considérable d'amidon.—Interm., 1923.

Pour ces auteurs les transformations anaphasiques ou télophasiques ne représentent ni une simple alvéolisation, ni l'endogenèse d'un filament nouveau destiné à devenir le chromosome de la—génèse suivante. Elles représentent au contraire le début de la division longitudinale. Pendant toute la durée du repos, le chromosome est donc double, et il se retrouve tel à la prophase suivante, pendant laquelle il n'y a plus lieu de rechercher un début de division.—B.Sc. Hons., 1923.

On n'a jamais observé de zones d'accroissement annuel chez les végétaux houillers. Les Lycopodiacées et Equisétacées arborescentes, les Cordaïtes en sont complètement dépourvus. Il n'est pas besoin d'insister beaucoup sur les conséquences de cette constatation, qui ont été maintes fois mises en relief : si ces végétaux n'ont pas de zones annuelles, c'est qu'il n'y avait pas de saison froide.—B.Sc. Hons., 1924.

SECTION VI. ZOOLOGY

LES CŒLENTÉRÉS

Rôle dans la nature.—Les Cœlentérés sont, parmi les Métazoaires, les moins hautement organisés. Pris dans leur ensemble, ils sont considérablement moins compliqués et perfectionnés que les Échinodermes et même que les Vers ; et cependant on est émerveillé de voir ce que les forces évolutives aux prises avec l'ambiance ont pu faire d'un simple sac à double paroi entouré d'une couronne de tentacules. Avec un bien petit nombre d'éléments de diversification (variation de la forme générale ; variation du nombre, de la situation et de la forme des tentacules ; variation dans l'abondance et de la répartition de la mésoglée ; sécrétion d'un squelette ; formation de colonies ; établissement du polymorphisme ergatogénique), la petite gastrule tentaculée devient Hydraire, Méduse, Siphonophore, Corail, Pennatule, Actinie, Polypier, Cydippe, Beroe, etc., etc.

On a tenté de retrouver dans les formes non différenciées des Cœlentérés la souche phylétique des embranchements supérieurs. Nous ne croyons pas devoir développer ici ce sujet, où l'hypothèse gratuite ou insuffisamment fondée a une trop large part.

Au point de vue utilitaire, les Cœlentérés sont sans intérêt pour l'homme : aucun ne lui fournit un aliment sérieux, aucun n'est nuisible, soit par lui-même, soit en s'attaquant aux êtres protégés par lui. Mais d'une manière indirecte leur intérêt devient très grand, en tant que constructeurs de ces étonnants récifs coralliens qui peuplent d'îles les mers équatoriales, étendent vers le large les îles et les continents des mêmes régions, offrant à la végétation de nouvelles surfaces, à l'homme de nouvelles terres, aux navigateurs de nouveaux périls.

DELAGE et HÉROUARD, *Traité de zoologie concrète.* Tome II—2me partie : *les Cœlentérés.* Paris : Schleicher Frères.

L'Ontogénèse

L'ontogénèse, c'est-à-dire, la série des transformations que subit l'œuf fécondé pour arriver à former l'être parfait, est aussi variée que les formes des êtres vivants. Elle est l'objet d'une science entière, l'embryogénie, plus étendue encore que l'anatomie. Mais cette variété immense n'est que le résultat des combinaisons sans fin d'un petit nombre de processus généraux qui sont du domaine de la biologie générale.

Au sens large, l'ontogénèse comprend la formation de l'organisme dans tous les modes de génération. L'individu qui se forme par division d'un individu antérieur, celui qui naît par bourgeonnement, celui qui provient d'un spore ou d'un œuf vierge ont également leur ontogénèse. Mais nous ne parlons ici que de l'ontogénèse de l'œuf fécondé. Les autres sortes, ou ont été implicitement étudiées, ou n'agitent aucun problème que celle-ci ne pose également.

Le premier fait général est que toutes les cellules de l'être complètement développé proviennent des divisions successives de l'œuf. Celui-ci disparaît en laissant à sa place les deux premiers blastomères qui proviennent de la division, et qui sont frères ; ceux-ci font de même et en laissent chacun deux autres, qui sont frères entre eux et cousins des autres, et ainsi de suite indéfiniment. Cette conception, qui est banale si l'on s'en tient au fait brutal sans en rien tirer, devient très suggestive si on la prend pour guide dans la conception de l'être. L'ontogénèse nous apparaît alors comme un grand *arbre généalogique,* à divisions dichotomiques, dans lequel chaque cellule a sa lignée ascendante représentée par une ligne brisée formée d'une seule file de cellules jusqu'à l'œuf, et sa lignée descendante représentée par un rameau plus ou moins touffu qui part d'elle et monte, en se divisant, vers le niveau supérieur. Les stades successifs de l'ontogénèse sont représentés par les plans horizontaux que l'arbre a successivement atteints. Les cellules situées dans le plan le plus élevé auquel l'arbre est arrivé à un moment donné sont seules vivantes, ou plutôt ont seules une existence réelle ; celles situées au-dessous ne figurent dans l'arbre que pour mémoire ; elles ne sont pas comme les ancêtres dans l'arbre généalogique d'une famille humaine qui peuvent exister en même temps que leurs enfants et leurs petits-enfants, ou être représentés par un cadavre déposé dans un cercueil. Ici, la cellule disparaît

tout entière en se divisant. On peut en parler cependant comme d'un être ayant vécu.

On peut même par un effort d'imagination se représenter les cellules groupées à chaque niveau de manière à dessiner le corps de l'être à ses différents stades avec ses organes à leur place, dans leurs transformations successives. Les lignes basipètes qui partent des cellules d'un organe ou d'un tissu se rencontrent toujours quelque part, presque toujours avant l'œuf, et cela permet de parler avec assurance de la *cellule-mère* d'un organe ou d'un tissu, bien que, le plus souvent, on ne puisse dire où et à quel moment elle a existé. Cela constitue une image très frappante, utile à avoir devant les yeux quand on veut saisir dans son ensemble la conception de l'individu. L'arbre d'ailleurs continue à croître tant que les cellules continuent à se diviser, c'est-à-dire toute la vie, et, à ce point de vue comme aux autres, c'est par une convention arbitraire que l'on donne à l'ontogénèse une autre borne que la mort.

Un autre fait non moins général ni moins important est que, dans chaque cellule, la chromatine et les chromosomes proviennent, par moitié, de la chromatine et des chromosomes de deux parents, et qu'à ce titre toute cellule est, comme le dit E. Van Beneden, hermaphrodite comme l'œuf fécondé. En effet, au moment où les deux pronucléus se fusionnent, leurs chromatines ne se fondent pas l'une dans l'autre comme deux liquides, leurs chromosomes restent distincts et, à chaque division, forment chacun par leur division longitudinale, deux anses jumelles dont l'une se rend à une des deux cellules-filles, la seconde à l'autre.

Peu importe que les chromosomes soient permanents comme nombre et comme individus, peu importe que le cordon spirème se recoupe ou non aux mêmes points : la division longitudinale intéresse toujours toute la longueur du spirème et chaque noyau nouveau reçoit une des moitiés longitudinales du cordon nucléaire. Si donc ce cordon est formé par les chromosomes unis bout à bout, chaque noyau recevra forcément une moitié de la substance de chaque chromosome paternel et une moitié de celle de chaque chromosome maternel. Pour qu'il en fût autrement, il faudrait que, pendant la phase de réseau, les éléments des chromosomes pussent se mélanger complètement de manière que, dans le spirème, des parties de chromatine paternelle et maternelle puissent se trouver côte

à côte en la même section transversale. La chose est possible et il faut en tenir compte, mais presque tous les histologistes s'accordent à admettre le contraire.

S'il en est ainsi, toute cellule tient par parties égales de la mère et du père qui ont donné naissance à l'œuf fécondé.

Ibidem.

La théorie du parasitisme

Est-on bien sûr que les mœurs parasitaires soient dérivées de l'amour de l'inaction ? Le parasite est-il devenu ce qu'il est parce qu'il a trouvé excellent de ne rien faire ? Le repos est-il pour lui avantage si grand que, pour l'obtenir, il ait renié ses antiques usages ? Eh bien, depuis que je fréquente l'hyménoptère dotant sa famille de l'avoir des autres, je n'ai encore rien vu qui, chez lui, dénotât le fainéant. Le parasite, tout au contraire, mène vie pénible, plus rude que celle des travailleurs. Suivons-le sur un talus calciné par le soleil. Comme il est affairé, soucieux ; comme il arpente d'un pas brusque la nappe ensoleillée ; comme il se dépense en recherches interminables, en visites le plus souvent infructueuses ! Avant d'avoir fait rencontre d'un nid qui lui convienne, il a plongé cent fois dans des cavités sans valeur, dans des galeries non encore approvisionnées. Et puis, si bénévole que soit l'hôte, le parasite n'est pas toujours des mieux reçus dans l'hôtellerie. Non, tout n'est pas roses dans son métier. La dépense de temps et de fatigue qu'il lui faut pour caser un œuf pourrait bien être égale et même supérieure à celle du travailleur pour édifier sa cellule et l'emplir de miel. Ce dernier a travail régulier et continu, excellente condition pour le succès de sa ponte ; l'autre a besogne ingrate et chanceuse, subordonnée à une foule d'accidents qui compromettent le dépôt des œufs. Il suffit d'avoir vu les longues hésitations d'un Cœlioxys, recherchant les cellules des Mégachiles, pour reconnaître que l'usurpation du nid l'autrui n'est pas sans difficultés sérieuses. S'il s'est fait parasite pour rendre l'éducation des siens plus aisée et plus prospère, il a été certes fort mal inspiré. Au lieu du repos, rude besogne ; au lieu de la famille florissante, lignée réduite.

. . . .

Non : l'animal ne commet pas la sottise d'aggraver volontairement son genre de vie ; conseillé par la paresse, il ne

quitte pas un état pour en embrasser un autre plus pénible ; s'il se trompe une fois, il n'inspire pas à sa descendance le désir de persévérer dans une coûteuse aberration. Non : le Stelis n'a pas abandonné l'art délicat du feutrage en coton pour abattre des murs et broyer du ciment, genre de travail de trop peu d'attrait pour faire oublier les joies de la récolte sur les fleurs. Par fainéantise, il ne dérive pas d'un Anthidie. Il a toujours été ce qu'il est aujourd'hui : patient travailleur à sa manière, ouvrier tenace dans la corvée qui lui est échue.

. . . .

J'écrirais un volume si je voulais continuer l'exposé de mes doutes. C'est assez pour le moment. L'homme, l'insatiable questionneur, d'âge en âge se transmet les pourquoi sur les origines ; les réponses se succèdent, aujourd'hui proclamées vraies, demain reconnues fausses ; et la divine Isis reste toujours voilée.

J.-H. FABRE, *Souvenirs entomologiques*, troisième série. Paris : Librairie Delagrave.

LE TRANSFORMISME

. . . L'idée transformiste ne fut pas étrangère à Buffon qui, sur le tard de sa longue et féconde existence, reconnut que la forme des animaux „ n'est pas inaltérable," qu'elle „ peut varier et même changer avec le temps," comme „ leur nature," et que beaucoup d'espèces, „ s'étant dénaturées, c'est-à-dire perfectionnées ou dégradées par les grandes vicissitudes de la terre et des eaux . . . ne sont plus les mêmes qu'elles étaient autrefois." Mais, perdue et comme noyée dans l'œuvre immense du grand et laborieux naturaliste, elle n'eût pas laissé de traces si Lamarck ne l'avait reprise et développée, établissant avec elle l'armature même de la biologie.

Contrairement à l'opinion courante, le génie n'est pas toujours une fleur de la jeunesse, il a parfois besoin de mûrir pour se manifester : Lamarck avait franchi la soixantaine lorsque parut, en 1809, la mémorable *Philosophie zoologique* où il exposa son idée sur l'évolution des êtres vivants. Pour lui, ces êtres évoluent par réaction vitale aux longues influences du milieu et lèguent à leur descendance les variations de cette manière acquises. Écoutons-le plutôt : „ Tout ce que la nature a fait acquérir ou perdre aux individus par l'influence des circonstances où leur race se trouve depuis longtemps

exposée, et, par conséquent, par influence de l'emploi prédominant de tel ou tel organe, ou par celle d'un défaut constant d'usage de telle partie, elle le conserve par la génération aux nouveaux individus qui en proviennent." Hérédité des caractères lentement acquis à la suite des interactions du milieu interne vivant et du milieu externe, de l'être vivant et de son ambiance, tels sont les facteurs de l'évolution transformiste au sens où la comprenait Lamarck.

C'étaient là des vues prophétiques, où le temps jouait le rôle de facteur essentiel, peu faites dès lors pour séduire l'esprit positif et conservateur de Cuvier. En pleine possession de sa gloire et de son influence, qui étaient grandes, l'illustre naturaliste, du vivant de Lamarck, combattit les idées nouvelles par un silence dédaigneux. . . .

Lamarck disparaît au milieu des éclats de la renommée cuviérienne ; c'est un méconnu qui s'en va, désespérant presque du succès de son œuvre. Comme l'observe Edmond Perrier dans la belle étude sur Lamarck que vient de faire paraître son frère, on est loin de l'époque où l'un des meilleurs zoologistes de Grande-Bretagne, l'éminent H. Huxley, pourra écrire : „ Buffon et Lamarck sont des géants ; Cuvier ne vient qu'après eux." Jusqu'en 1859, c'est presque le silence autour de l'idée transformiste ; mais alors se révèle Charles Darwin qui reprend et développe cette idée sous une autre forme dans son *Origine des espèces*, admirable pendant de la *Philosophie zoologique*. A l'inverse de Lamarck qui devançait par trop son époque, Darwin arrive au moment propice : il bénéficie du travail d'un demi-siècle et trouve un public pour l'entendre. Aussi, bien que s'occupant fort peu de Lamarck, a-t-il contribué plus que personne à en faire connaître l'œuvre et à la tirer d'un injuste oubli ; c'est par lui que le transformisme a reçu droit de cité dans le monde.

D'ailleurs, il accepte les idées lamarckiennes, c'est-à-dire l'hérédité des caractères acquis sous l'influence du milieu, mais il ajoute une part dominante qui lui est propre. Les variations lentes lui paraissent „ d'une importance tout a fait secondaire " si on les compare aux „ variations accidentelles " qui se produisent çà et là, par des „ causes inconnues," chez les représentants des diverses espèces. Ces variations accidentelles sont héréditaires et apparaissent brusquement ; elles se manifestent dans les instincts comme dans les formes. Darwin les appelait des *sports*, mais les sports ne sont rien autre

que les *mutations* des auteurs modernes. Quelle qu'en soit l'origine, les variations héréditaires n'ont pas toujours la même valeur ; par la lutte pour l'existence, elles donnent prise à une sélection naturelle qui les favorise et les amplifie chez les individus où elles sont le plus avantageuses.

On se trouverait dès lors, semble-t-il, en présence de deux vues essentiellement différentes, pour expliquer l'évolution par le mode transformiste : l'idée lamarckienne qui attribuait les phénomènes évolutifs aux réactions vitales de l'être sous les influences du milieu, et celle de Darwin où le rôle principal était dévolu à la mort, c'est-à-dire à la sélection naturelle de variations brusques dont la cause restait mystérieuse. Ce fut l'époque héroïque du transformisme, celle où combattirent vaillamment en faveur de celui-ci quelques-uns de nos plus brillants confrères, les Gaudry, les Giard, les Perrier ; en grande majorité, les biologistes se rangèrent sous les deux drapeaux à la fois, acceptant la sélection naturelle qui n'était contraire en rien aux idées de Lamarck, mais sans accorder aux mutations l'importance prédominante que leur attribuait Darwin.

La lutte appelle l'union, que dissocie trop souvent la victoire, tant sont grandes les tendances belliqueuses de la pauvre humanité. Au moment où le transformisme s'établissait en maître sur les ruines de l'école cuviérienne, un professeur de Fribourg-en-Brisgau, M. Weismann, envisageait des modifications profondes dans le mécanisme de l'évolution des êtres : pour lui, les influences de milieu sont bien capables de modifier le soma, c'est-à-dire l'ensemble de l'individu, abstraction faite des cellules reproductrices, mais les variations qu'elles produisent sont incapables de retentir sur ces dernières et, par suite, de passer à la descendance. C'était la négation complète du mécanisme entrevu par Lamarck, et la réduction du système darwinien à sa partie principale, celle relative aux mutations. Ces variations brusques résultent du hasard de la combinaison, au moment où le germe mâle s'unit au germe femelle pour constituer l'œuf. D'après Weismann, les germes renfermeraient des particules représentant chacune un caractère ; ces particules seraient indépendantes, capables de se multiplier elles-mêmes, vivant en une sorte de symbiose à l'intérieur des cellules reproductrices, et c'est à leurs combinaisons diverses au moment où se fusionnent les germes qu'il faudrait attribuer les variations héréditaires. Si l'on

tient pour de la bravoure la conception des hypothèses osées, Weismann doit être considéré comme un brave !

Toutefois, l'hypothèse des particules était trop imaginaire pour résister à l'analyse. Elle se modifia et devint plus rationnelle à la suite des recherches effectuées par plusieurs botanistes, en France par Naudin, et en Allemagne par Mendel sur les hybrides végétaux, en Hollande par de Vries sur les mutations des Œnothères. Ces recherches établirent l'indépendance de certains caractères particuliers aux races et aux espèces : ces caractères passent d'abord en commun aux hybrides issus du croisement, mais ils se disjoignent au cours des générations successives, pour réapparaître purs et sans mélange chez les descendants. Ainsi apparut une nouvelle école, celle des mutationnistes, directement issue du darwinisme et des idées de Weismann, encore que parfois elle s'en défende. Comme Weismann, les adeptes de cette école n'admettent pas d'autres variations héréditaires que les mutations, c'est-à-dire les variations d'origine germinale, et ils les attribuent également à des facteurs germinaux qui, réglant les conditions internes du fonctionnement des cellules, impriment aux individus tels ou tels caractères ; à juste titre d'ailleurs, ils rejettent l'influence amplifiante de la sélection naturelle sur les variations ; la sélection détruit sans rien créer, elle maintient simplement les variations moyennes.

Les mutationnistes purs se rangent autour du biologiste américain T. H. Morgan, qui a réalisé et fixé d'extraordinaires mutations chez la Drosophile ou mouche du vinaigre ; on trouvera leur expression parfaite dans l'intéressant ouvrage sur *l'Hérédité*, que vient de faire paraître en France M. Guyénot. Pour eux, les facteurs germinaux sont des particules déterminées, mais sans multiplication propre ; ils seraient localisés au sein du noyau, dans les filaments chromatiques propres à cette partie de la cellule, et, comme le patrimoine héréditaire qu'ils constituent, auraient une fixite considérable. Fluctuante sous les influences du milieu externe, l'espèce conserve, avec une étonnante stabilité, les variations issues des cellules germinatives, et ces variations, comme le pensait Darwin, semblent exclusivement dépendre du hasard. . . .

Il n'y a pas l'antagonisme que l'on croit entre les diverses écoles transformistes. Limitant aux variations brusques le mécanisme de l'évolution, les mutationnistes pensent que celle-

ci est discontinue, que les espèces et les races sont fixes et qu'elles disparaissent pour s'anéantir ou donner naissance à d'autres également fixes. En quoi ils ne s'éloignent pas autant qu'on le suppose de l'antitransformiste Fabre, en quoi surtout ils s'accordent parfaitement avec les physico-chimistes, surtout avec M. Georges Bohn, qui compte parmi les meilleurs : "Si, observe ce dernier, les caractères morphologiques et fonctionnels de chaque race et de chaque espèce sont la manifestation de la structure intime de leur plasma, formé dans chaque cas de produits définis et distincts, il ne saurait y avoir d'une race à une autre, d'une espèce à une autre, de transitions lentes et continues dans le sens de Darwin et de Lamarck." Cela ne fait pas de doute ; mais que faut-il entendre par variations lentes et continues ? Y a-t-il entre elles et les variations brusques une opposition fondamentale ? A l'exemple de Giard, beaucoup de zoologistes l'ont contesté, et M. Rabaud le conteste encore dans ses *Éléments de biologie générale.*

Veut-on mon sentiment sur ce point qui est, dans la question, d'importance capitale ?

D'abord, Lamarck n'a jamais dit que toutes les variations individuelles sont héréditaires, et il se contente de faire jouer un rôle à celles qui, longuement élaborées, passent à la descendance par voie héréditaire ; on ne s'occupait pas, à son époque, de continuité et de discontinuité dans les variations. Or, les variations héréditaires sont celles qui frappent les cellules reproductrices, ce sont les variations brusques ou mutations des mutationnistes ; elles sont ordinairement faibles, parfois très faibles, et alors, quand elles s'ajoutent peu à peu, donnent une impression de lenteur et de continuité au processus évolutif.

D'ailleurs, qu'elles soient faibles ou fortes, les variations héréditaires ne sauraient échapper au mécanisme entrevu par Lamarck. On peut bien les attribuer au hasard, mais ce n'est qu'une échappatoire ; animaux et plantes sont tributaires du milieu externe où ils vivent et de leur propre milieu interne issu de celui-là ; les deux milieux réagissent l'un sur l'autre, et, à moins d'invoquer un agent mystérieux supra-naturel, on ne voit pas d'autres influences capables de faire varier un organisme. Quant à croire, à la suite de Weismann, que les variations des cellules somatiques sont incapables d'agir sur les cellules reproductrices, c'est mettre en doute les relations

intimes qui existent entre tous les organes, et la confusion de ces derniers en un tout unique chez les êtres unicellulaires. En fait, toutes les variations sont dues aux réactions réciproques du milieu externe et du milieu interne, et toutes les variations héréditaires, faibles ou fortes, mûrissent plus ou moins lentement à l'intérieur de l'organisme, pour se manifester brusquement à l'extérieur sous la forme de mutation. J'ai comparé jadis ce phénomène „ à l'accumulation de puissance qui se produit chez les jeunes êtres et qui se manifeste brusquement par la maturité sexuelle, ou encore à la longue genèse de maladies qui se développent tout à coup," également à l'élaboration de la langouste au sein de sa larve foliacée. „ Pour obtenir une réaction chimique, écrivait à ce propos Giard, pour faire virer la coloration d'un liquide, il faut ajouter goutte à goutte le réactif jusqu'au moment où, tout à coup, la réaction se produit et la coloration nouvelle apparaît. La mutation est le résultat d'un nouvel état d'équilibre dans les variations de l'organisme."

Ainsi doit être comprise, il me semble, l'évolution des êtres vivants ; elle est le résultat de transformations lentes, brusquement extériorisées, dues aux influences réciproques qui agissent sur ces êtres et dans eux. Comment agissent ces influences, on ne le sait pas exactement, et c'est pour en connaître le mécanisme que les diverses écoles transformistes se sont établies.

E.-L. Bouvier, Président de l'Académie des Sciences, Discours prononcé à la séance publique annuelle, le 14 décembre 1925.

pH

Il a été parlé incidemment, ici même, du pH.[1] Mais il mérite qu'on y revienne. On s'en occupe beaucoup parmi les biologistes, les océanographes, et tous ceux qui s'intéressent aux divers phénomènes se passant dans la biosphère.

De divers côtés, paraissent des volumes, des articles [2] ; bref,

[1] Ne pas feuler comme un chat : prononcer *pé-hache.*

[2] Voir Maurice Vincent : *La Concentration en ions hydrogène* (J. Hermann) ; Kolthoff : *La détermination colorimétrique de la concentration en ions hydrogène* (Gauthier-Villars) ; R. Legendre : *La concentration en ions hydrogène de l'eau de mer, le pH* (Presses Universitaires) ; trois articles de F. Coste sur l'*Équilibre acido-basique* dans la *Presse médicale* (juin 1924) ; H. Labbé : la *réaction actuelle des liquides de*

pH devient un personnage de premier plan. Qu'est-ce donc que pH ? N'insistons pas sur son caractère de logarithme, qui risquerait d'indisposer beaucoup de lecteurs. Pas trop non plus sur ce qu'il exprime la concentration d'une solution en ions hydrogène, ce qui pourrait en indisposer d'autres. Disons plutôt que le pH est l'expression de l'acidité réelle d'une solution, différente de l'acidité de titration globale, l'expression de l'acidité actuelle, de la force de la fonction acide, au moment où se fait l'observation. Une solution contenant des corps divers présente souvent des variations de pH tenant aux modifications survenant dans son équilibre acido-basique sous diverses influences, animées et inanimées ; en déterminant le pH de celle-ci, on obtient, comme le dit M. Henri Labbé, „ l'acidité d'une humeur saisie à un instant donné : c'est comme la photographie instantanée de son état moléculaire."

C'est-à-dire que la détermination du pH renseigne sur l'équilibre acido-basique tel qu'il se présente au moment considéré dans un milieu où se font sans cesse les réactions diverses.

M. Legendre, dans son excellente monographie, présente l'image que voici du pH. Imaginez un *dancing*, plein de monde ; les uns dansent, les autres regardent. Et la proportion des danseurs et non-danseurs varie sans cesse. Prenez un instantané : ils vous donnera la mesure de l'activité saltatoire du moment : vous faites de l'ionométrie. Contentez-vous de demander à l'entrée combien il y a de personnes : vous ferez de la titrimétrie. Dans un cas, mesure d'activité ; dans l'autre, mesure de quantité.

Or, la première présente un intérêt considérable en biologie : car, chez l'être vivant, l'activité varie sans cesse, et il est besoin de la mesurer, elle-même, et son sens.

Le pH ne varie pas seulement chez l'être vivant, et, dans les différentes parties de celui-ci, à différents moments ; il varie aussi dans le milieu où existent les êtres ; dans la mer, où, sans cesse, il y a des actions et réactions entre atmosphère et eau, et entre eau et êtres vivants.

Il faudrait un espace considérable pour exposer comment on est arrivé à la notion du pH, comment on le détermine. Les trois ouvrages de MM. Vincent, Legendre et Kolthoff le

l'organisme (supplément à *La Médicine*, février 1925) ; *L'acidité et l'alcalinité, leur définition actuelle et leur expression en pH* par L. Hallion, *Rev. Prat. de Biologie appliquée* (janvier 1925).

relatent avec tous les détails nécessaires, en exposant les méthodes actuellement employées pour cette détermination. Qu'il suffise de savoir que le pH va de 0 à 14 ; le pH 7 représente la neutralité absolue ; pHo l'acidité maximale, et pH 14 l'alcalinité maximale. Ajoutons que les pH intéressant le biologiste sont ceux qui s'échelonnent de 4 à 10 environ, ceux qui correspondent à des nuances d'alcalinité et d'acidité de part et d'autre de la neutralité. Mais n'oublions pas que le pH est du moment, de l'heure ; ce sont ses oscillations successives qui intéressent. Le pH fournit comme un microscope chimique qui pénètre dans l'intimité des tissus et organes, et déjà il est évident qu'en deçà de pH 4 et au delà de pH 10, la vie n'est pas possible.

Tandis que l'ouvrage de M. Kalthoff traite surtout de la théorie du pH et de la façon de le déterminer par la colorimétrie, celui de M. M. Vincent, traitant de la méthode électrométrique, est consacré aussi à l'étude des variations de l'équilibre acide, — base du sang ; enfin, celui de M. R. Legendre, qui contient aussi les explications physico-chimiques nécessaires, est consacré pour la plus grande partie aux variations du pH de l'eau de mer, et aux problèmes biologiques de celui-ci. Les trois volumes se complètent mutuellement.

A coup sûr, les pages que consacre M. Legendre aux variations du pH de l'eau de mer sont fort intéressantes pour l'océanographe et le géologue. Il y a à peu près de tout dans l'eau de mer. Mais, dans ce mélange, il y a des modifications incessantes, des entrées, des sorties, des réactions, des précipitations, des dissolutions, une activité très grande, très variable, à répercussions nombreuses. L'eau ne dort pas. Et sur elle s'exercent, sans cesse, des influences — température, lumière, pression, courants, etc., — qui viennent troubler l'équilibre et provoquer de nouvelles actions. L'atmosphère encore agit de façon importante ; des échanges considérables de gaz ont lieu entre elle et les océans, dans les deux sens, d'où des changements constants, en sens divers.

Aussi le pH y est-il sans cesse changeant. Il se modifie, sous l'influence de la température, de la salinité, de la tension de l'acide carbonique, selon la distance de la côte, les profondeurs, la latitude, les courants ; selon la population marine, selon les effets de photosynthèse et de respiration. De nombreux voyageurs, dont M. Legendre résume les observations, font voir que, chaque jour, en des points différents, à la

surface, le pH varie ; et celui-ci varie avec la profondeur, la saison, la nature des algues (sur la côte) ; il y a des oscillations saisonnières. Tout ce qui agit sur le pH agit sur la proportion d'acide carbonique et de carbonates dans l'eau de mer, et, partant, sur la géologie, sur la précipation des carbonates au fond. L'auteur n'a pas de peine à montrer à l'océanographe et au géologue que le pH n'est pas ce qu'un vain peuple pense, une amusette de laboratoire : il joue un rôle cosmique.

Le biologiste, lui, n'a nul besoin qu'on l'exhorte. Il est d'avance converti ; il était tout prêt à voir et croire. Et, comme le petit éléphant doué d'une inlassable curiosité, il cultive et pratique le pH. Il n'y a pas six mois, qu'à l'Académie des sciences, M. P. Portier montrait les variations successives du pH chez l'œuf de poule, dans le jaune et dans le blanc séparément, de jour en jour, à partir de l'incubation, y joignant, après disparition du blanc, les variations du pH des tissus et du sang de l'embryon. Au début, le blanc est très alcalin, le jaune très acide, et, vers le dixième jour, l'accord se fait par la neutralité. . . .

Une très grosse question, intéressant à la fois l'océanographie, la biologie et la géologie, est celle des modifications qu'apportent dans la composition de la mer, la respiration et la photosynthèse : comment se forment et s'éliminent biologiquement les sels d'acides faibles, les carbonates en particulier ? Quelle influence les variations du pH exercent-elles sur la vitalité, les migrations, les tropismes des animaux, sur l'habitat et la distribution des êtres vivants ? Quelle influence encore sur les cellules, la reproduction ? Le programme est très étendu. On est fort mal renseigné jusqu'ici sur les détails de la respiration des animaux marins, sur l'action et la réaction entre cette fonction et le milieu. Il reste encore beaucoup à apprendre sur la valeur de la consommation d'oxygène selon l'espèce, la taille, etc. Il faut connaître l'influence de l'alcalinité de l'eau de mer mesurée par le pH, sur la respiration : et, quand on tiendra des faits précis, il faudra encore les interpréter.

Il y a beaucoup à faire dans l'étude de la photosynthèse par les algues marines ; selon l'espèce, la profondeur, l'illumination, les radiations, etc., celles-ci assimilent, et créent des réserves, à des degrés variables. Et il faut élucider la répercussion des modifications imposées par l'activité vitale à la chimie du milieu sur la biologie des êtres divers occupant

celui-ci. Pour certains, les conditions créées deviennent déplorables : il faut voir pourquoi.

On sait, par des observations éparses, que la composition saline des invertébrés est très variable. Même à ne s'en tenir qu'au pourcentage de la silice, de la magnésie et de la chaux, les différences sont énormes à l'intérieur d'un groupe identique. A quoi tiennent-elles ? Évidemment, telles espèces sont d'eau profonde, d'autres de surface, telles vivent à des températures plus élevées que d'autres : sans doute, les différences de condition jouent un rôle ; mais de quelle façon ? Par contre, dans tel groupe vivant d'habitude en milieu identique — les madréporaires, par exemple, — il y a une uniformité plus grande. Que de questions se posent aussi : sur la rapidité avec laquelle, par exemple, le homard renouvelle à chaque mue sa carapace, représentant près de 60 % du poids de son corps, et sur les moyens dont il dispose pour se rhabiller si vite. A coup sûr, le pH fournit un moyen d'investigation à utiliser.

Il fait de même en ce qui concerne l'étude de tant d'influences du milieu sur le vivant. Si l'on y regarde de près, on est, sans cesse, surpris de la limitation d'habitat des organismes. Chacun préfère un milieu spécial, évidemment. Qu'est-ce qui caractérise ce dernier ? Pourquoi ces frontières ? Le pH joue là un rôle. Ainsi, tel *Fucus* ne peut vivre qu'entre pH 8,6 et 7,0. Cette algue manque dans les mares à ulves, ou laitues de mer, parce que celles-ci — au soleil — alcalinisent fortement l'eau. Telle autre ulve peut supporter un pH 9,4, mais d'autres meurent en deux heures en pareil milieu. Si les carrelets des bacs d'élevage de Port-Erin ont présenté des ulcérations cutanées, c'est que le pH est monté trop haut, en raison de la multiplication des algues unicellulaires et des flagellés.

Ce sont les modifications du pH qui paraissent expliquer le phénomène des migrations des poissons. Le hareng exécuterait ses randonnées à la recherche, non de l'absolu, mais d'un pH optimum. Et peut-être (L. Roule) le pH joue-t-il un rôle dans les déplacements du saumon. En d'autres cas, le rôle du pH peut être indirect. Ses variations — d'origine cosmique ou autre — favorisent ou contrecarrent l'abondance du plankton, c'est-à-dire de l'approvisionnement ; les poissons peuvent abandonner les parages à plankton pauvre et rechercher ceux à plankton riche. Et les variations saisonnières de celui-ci

apparaissent nettement. La multiplication de telle diatomée, en avril et mai, est formidable ; elle ne peut manquer de retentir sur la chimie du milieu et sur les organismes habitant celui-ci, par contre-coup. Il était essentiel de disposer d'un moyen de connaître les variations du chimisme, à tout moment, et ce moyen, la détermination du pH le fournit. L'ionimétrie constitue un outil exact et souple, permettant l'investigation microscopique, pour ainsi dire, du chimisme, et sa photographie instantanée. Elle met le biologiste en état d'aborder l'étude d'une foule de problèmes ; elle intéresse au plus haut degré le physiologiste, comme le montre M. M. Vincent par ses études sur les variations du pH du sang. Un instrument nouveau, une méthode complémentaire, sont offerts à l'océanographe, au géologue, à l'agronome, au physiologiste, au biologiste, et il faut remercier Sœrensen, le Danois qui les a élaborés, et les auteurs qui prennent la peine de nous en expliquer le détail et le grand prix, comme font MM. M. Vincent, Kolthoff et R. Legendre, dont l'effort sera très apprécié.

Henry de Varigny, Feuilleton du *Journal des Débats* du 10 décembre 1925.

Examination Papers, University of London

On voit suffisament, que la circonstance capitale de la vie d'un parasite est la rencontre de l'hôte. Faute de trouver, au moment voulu, l'hôte convenable — et celui-ci est le plus souvent une espèce étroitement définie — le jeune parasite, embryon ou larve, meurt. Il se perd ainsi un nombre énorme d'individus, qui ne font pas la rencontre propice, et nous verrons comment cette perte immense de germes est compensée.—Interm., 1923.

Les Vertébrés sont essentiellement caractérisés par trois traits d'organisation : 1° Ils ont le système nerveux central tout entier du même côté du tube digestif, du côté dorsal ; aucune partie ne forme un masse ventrale reliée au reste par des connectifs périœsophagiens comme cela a lieu chez la plupart des Invertébrés. 2° Ils ont une notocorde, pièce squelettique de structure caractéristique et d'origine endodermique, située entre leur tube digestif et leur cordon nerveux dorsal ; 3° Ceux d'entre eux qui ont une respiration aquatique, respirent

au moyen de fentes branchiales perçant la paroi de leur pharynx. Ces trois caractères ne se rencontrent chez aucun Invertébré, sauf ceux que l'on a réunis sous le nom de Procordés ou Protocordés.—Interm., 1923.

Ce n'est que chez les Amniotes que le metanephros devient, à lui seul, le rein de l'animal adulte. Nous avons déjà vu que chez beaucoup d'Amphibiens et chez certains Poissons osseux, le mesonephros, dans sa partie postérieure, était mélangé d'éléments metanephritiques plus ou moins abondants. Chez les Amniotes il n'y a plus de meso-metanephros. Les deux organes sont complètement dissociés et poursuivent une évolution indépendante.—Interm., 1924.

GLOSSARY

(Words identical or similar in the two languages are omitted.)

abaisser : to lower
abattre : to pull down
d'abord : at first ; tout — : from the very first
aborder : to accost, broach, handle
aboutir à : to result in
abri : shelter ; à l'abri de : sheltered from
abyssal : abysmal
accoler : to hug, embrace ; s' — : to embrace each other, to twine round, cling to
accorder : to grant, allow ; s' — : to agree
s'accroître : to increase
accusé : marked
additionner : to add up
aéré : aerated
affairé : busy
affleurement : cropping out (*of strata*), outcrop
s'affranchir de : to rid oneself of, to shake off
agir : to act ; s'agir de : to be a question of
aigrette : egret, aigret, tuft, crest
s'aigrir : to turn sour, to grow worse, to be exasperated
aigu : acute, sharp
aiguille : needle ; — d'inclinaison : inclinatory needle
aimant : magnet
aimanter : magnetize
aisance : ease
aisé : easy
aller : to go ; cela ne peut — : that cannot be possible
alliage : alloy
allonger : to lengthen, elongate
s'allumer : to be lighted, to light, kindle
allure : gait, pace, way, behaviour
altérable : subject to change, changeable
s'altérer : to be altered, to spoil
amas : heap
ambiance : surroundings
ambiant : surrounding
amiante : amianthus, mountain-flax, earth-flax, asbestos
amidon : starch, fecula
amorcer : to bait, prime, decoy, draw in
amortir : to deaden, to sink (*money*), to redeem, pay off
amortissement : amortization, sinking, redeeming
ampleur : amplitude, largeness
ampoule : ampulla
amusette : amusement, child's play
anéantir : to annihilate
angoisse : anguish
anguleux : with many angles, (*bot.*) angular
anhydre : anhydrous, free from water
anneau : ring
annulaire : ringed
anormal : abnormal
anse : handle
aperçu : sketch, rapid view ,glance
aplanir : to smooth, level, plane
aplatir : to flatten
appareil : apparatus
appel : appeal, call ; faire — à : to appeal to
appliquer : to apply
apport : floating down *or* on, alluvium, alluvial deposit
approfondir : to deepen, to examine thoroughly
approvisioner : to supply with food
appui : support ; point d' — : fulcrum
après, after ; d' — : according to
arête : fish-bone, skeleton of a fish, (*bot.*) awn, beard, prickle, (*geom.*) corner, edge, (*geol.*) foot
argile : clay
argileux : clayey

armature : sheathing (*of a ship*), metal-work
arpenter : to measure, to walk at a great pace
arracher à : to snatch from
arrêt : stopping, stop, stay
article : article, articulation
aspirer : to draw *or* suck in
asque : ascus
assise : (*geol.*) layer, stratum, (*bot.*)
assujettir : to subdue, subject
astre : star
atomistique : atomical, atomic theory
s'attarder : to delay
s'attendre : to expect, look forward to
attendu : expected
attrait : attraction
avérer : to aver, to prove the truth of
avide de : greedy for
avoir : property, possessions
axe : axis, axle
azotate : nitrate, azotate
azote : nitrogen, azote
azoté : azotized, nitrogenized
azoteux : nitrous

bac : basin
baguette : rod
bain-marie : water-bath
ballon : balloon, (*chem.*) flask
banal : commonplace
baril : barrel, cask
barreau : bar
beaucoup : much ; de — : by far
béneficier de : to profit by
berceau : cradle
besogne : work
besoin : need ; il n'est pas — de : there is no need to
beurre : butter
bitume : bitumen ; — de Judée : Judean bitumen, Jew's pitch
blanchissage : washing
bleuâtre : bluish
bobine : bobbin, spool
bore : boron
borne : landmark, boundary, limit
borner : to limit
boucher : to stop, stuff, cork, block, obstruct
bouchon : cork, stopper
boue : mud
bouée : buoy
boueux : muddy
bougie : candle
bouillie : pap, pulp
bouillir : to boil
bouillonner : to bubble, to boil (over)
boule : bowl, ball
boulet : bullet, ball
bourgeonnement : budding
branchial : of the gills
brèche : breach, rupture, flaw
bromure : bromide
broyage : grinding, rubbing
broyer : to grind, pound, bruise
bulle : bubble, blister
but : object
butiner : to pilfer ; — les fleurs : to gather honey

cadavre : corpse
cadrer : to agree, square with, tally
se cailler : to coagulate
calcaire : limestone
calice : chalice, (*bot.*) calyx
calquer : to trace, to imitate closely
carboné : carbonated
carbure : carbide
carré : square
carrelet : flounder
case : division, pigeon-hole
caser : to find a place for, to place
cassant : brittle
cassure : fracture, breaking, broken place
Caucase : Caucasus
caudicule : caudicle
cendreux : ashy, full of ashes
centrage : cent(e)ring
cercueil : coffin
champignon : mushroom
chanceux : uncertain
charbon : coal ; — de bois : charcoal
charbonneux : carboniferous
chargé : charged, loaded, burdened
charriage : cartage, drifting (*of matter by a river*)
charrier : to cart, to drift
chauffage : fuel, heating
chauffe : heating, furnace
chauffer : to warm, heat ; — au rouge : to make red-hot
chaux : lime
chiffon : rag ; papier de — : rag paper
chiffre : figure, number, cipher
chimisme : chemical processes in organic matter
chlorure : chloride
chute : fall
ciguë : hemlock
cil : eyelash, (*bot.*) lash, hair
cinabre : cinnabar
cinese : synapsis
cipolin : cipollino, cipolin marble
cire : wax
cloche : bell ; — de verre : bell-glass
cloison : partition, septum

cloisonnement : inlaying with partitions
clos : closed
col : neck
coller : to paste, glue, to clear (*with isinglass*), to size
colonne : column
combinaison : combination, contrivance
comble : zenith, acme ; de fond en — : from top to bottom
commode : convenient
communément : in common, commonly, usually
comporter : to permit, allow ; se — : to behave, to go on
composé : compound, composite
comprimer : to compress
compte : account ; entrer en ligne de — : to come into consideration ; se rendre — de : to account for ; tenir — de : to take into account ; — rendu : report
compter : to count
concourrir : to compete
concours : concourse, concurrence, co-operation, competition
concrétionné : stalactite
confection : making
conférence : lecture
conforme à : in conformity with
confus : confused
conséquent : consequent ; par — : in consequence
conservateur : conservative
conserver : to preserve
constater : to prove, verify, ascertain
construire : to construct
contenance : capacity, contents
contenu : contents
continu : continuous
contrecarrer : to thwart
contre-coup : counter-blow, repercussion
contrée : region
convenable : suitable
convenir : to suit
coquille : shell
corallien : coral
cordon : cord
cortège : procession
corvée : forced labour, drudgery
côte : coast
côté : side ; de son — : on his (its) part
couche : bed, layer
coulage : flowing out, leakage, casting
coulée de lave : lava stream

couler : to flow, to leak, to cast
coup : blow ; à — sûr : unquestionably ; après — : too late ; du premier — : at the first
coupe : cutting, section, cup
couramment : fluently, readily
courbe, *n.* : curve ; *adj.* : curved, bent
courbure : curve, curvature
couronne : crown, (*geol.*) corona
coussinet : small cushion, pad
coûteux : costly
craie : chalk
creux : hollow
crochet : hook
croisé : crossed
croisement : crossing
croissance : growth
croissant : increasing
cube, *n.* : cube ; *adj.* : cubic
cuivre : copper
cuivreux : coppery, containing copper
cuve : tub, vat
cuvette : cuvette, (wash-hand) basin, cistern

Danois : Dane
débarasser de : to free from
débit : sale, yield
deçà : here, on this side ; en — : this side
décharger : to discharge, unload
déchéance : decay, degeneration
déchiqueté : cut ; (*bot.*) laciniate, jagged
décollement : ungluing, unpasting, coming off
se décoller : to unglue, get unglued, come off, part
décolorant : discolouring agent
décolorer : to discolour
découper : to cut up *or* out
décroître : to decrease ; aller en décroissant : to go on decreasing
dédaigneux : disdainful
dédoubler : to divide into two ; se — en : to be divided into two
déduire : to deduct, to deduce
défaut : defect, want
se défendre de : to deny
dégagement : disengagement, freeing, liberation (*of gas*)
se dégager : to be cleared from, (*chem.*) to be evolved, liberated
de là : beyond ; au — de : beyond
délayer : to dilute, to temper
dénaturer : (*chem.*) to change the nature of, to debase ; se — : to change (one's nature)

dénivellation : disturbance of the horizontal position
dénommer : to denominate, term
départ : departure, (*chem.*) parting ; point de — : starting-point
dépasser : to exceed, surpass
dépêche : telegram
dépendre de : to depend on
dépens : expense
dépense : expense
dépenser : to spend, consume
déperdition : loss, waste, (*med.*) discharge
se déposer : to be deposited
déposséder : to dispossess
dépôt : deposit(ing), sediment
dépourvu : deprived of, lacking
déprimé : depressed
dérivé : derivative
dérivée : (*math.*) derived quantity
dériver : to be derived ; to proceed, be descended from
dès : from, since ; — lors : from that time
désaccord : disagreement
désespérer : to despair
désordonné : disorderly, disordered, immoderate
désormais : henceforth
dessécher : to dry
dessiner : to draw
se détendre : to unbend, relax
détente : relaxation
se détordre : to come untwisted
détritique : detrital
devancer : to be before *or* beyond
dévier : to deviate, swerve
dévolu : devolved ; — à la mort : fated to die
diluer : to dilute
discontinu : discontinuous
se disjoindre : to come apart *or* asunder, to separate
disposé : ready, prepared
dissocier : to dissociate, separate
dizaine : ten
données : data
doré : gilded
doter : to endow
se doubler : to be doubled
douer de : to endow with
doux, *fem.* douce : sweet, soft ; eau douce : fresh water
drapeau : standard, flag
dresser : to raise ; se — : to rise
droit : right ; — de cité : rights of a citizen, freedom of a city
droite : straight line
durée : duration
eau : water ; — douce : fresh water ; — mère : mother-water
ébullition : boiling ; porter à l' — : to bring to boiling-point
écailleux : scaly
écart : digression, swerving, difference
écarter : put aside, dismiss
échantillon : sample, specimen
échappatoire : subterfuge, evasion
s'échelonner : to be arranged in stages
échu, past part. of échoir : to fall to (one's share)
éclairage : lighting
éclairement : illumination, enlightenment
éclairer : to illuminate, enlighten
éclat : splendour, brightness, brilliance, lustre
éclatement : bursting
écorce : bark, rind
écoulement : flow(ing)
s'écouler : to flow (away)
écrasement : crushing
édifier : to build
effiler : to unweave, to ravel out, unravel ; s' — : to taper
égard : regard ; eu — à : having regard to
élargir : to widen, enlarge
élevage : breeding, rearing
émailleur : enameller
embouchure : mouth
embranchement : branch, branching off
émeraude : emerald
émerveiller : to astonish, amaze
émis, past part. of émettre : to emit, to express
s'emparer de : to take possession of
emplir : to fill
emporter : to carry away ; l' — sur, to prevail, get the better of
empreinte : impress
emprunter à : to borrow from
enchaîner : to chain (up), to link, connect
encrasser : to dirty, foul
enduire : to do over, to coat
enduit : coating, layer
enfouir : to bury
enfouissement : burying
enlever : to lift, raise, to carry off, remove
énoncé : statement, (*geom.*) enunciation
énoncer : to enunciate, state
ensoleillé : sunny
entassement : heap, accumulation

entendement : understanding, sense
entendre : to hear, to understand
entraînement : carrying away
entraîner : to carry away, sweep off, to drag
entretenir : to hold, keep, maintain
entretien : maintenance, keeping
entrevoir : to have a glimpse of, to glimpse, foresee
épaisseur : thickness
épaissi : thickened
épars : scattered, dispersed
épineux : spiny
épouser : to espouse, to take (on)
épreuve : test, trial, proof
éprouver : to experience
équivaloir à : to be equivalent to
esquille : splinter (of a bone)
étain : tin ; d' — : stannary, stannic
étalon : standard (*of weights and measures*)
étamine : stamin, bolting-cloth, bolter, (*bot.*) stamen, male organ
étanche : water-tight, air-tight, steam-tight
étang : pond
étape : stage
étau : vice
éteint : extinct
étendu : extensive, diluted
étendue : extent
étincelle : spark
étiolement : etiolation
étiquette : ticket
étirer : to stretch, lengthen
étoilé : starry, stellate(d)
s'étrangler : to constrict oneself
évaluation : valuation, estimate
évanouir : vanish
évoluer : to develop
exclu : excluded, out of the question
exiger : to demand
expérience : experiment
explication : explanation
exploitation : working, using
exploiter : to exploit, work
exposé : statement, account, recital
exposer : to expose, show
extraire : to extract

fainéant : sluggard, idler
fainéantise : idleness
faisceau : bundle, (*opt.*) pencil ; — de rayons : pencil of rays.
fait : fact ; prendre sur le — : to catch in the act
falloir : to be necessary ; s'en — : to be lacking, to be far
fardeau : burden, load, weight
farine : flour, meal, farina ; — fossile : dictomaceous earth
fausser : to falsify
faut, *see* falloir ; il — : one must ; il s'en — : far from it
faute : fault, want ; — de : for want of
fente : slit, chink, cleft
fer : iron ; — des marais : bog iron (ore)
fermeture : closing, shutting
festonner : to festoon, scallop
feuille : leaf, sheet
feuilleté : foliated
feuler : to spit
feutrage : felting
figé : congealed, coagulated, curdled
fil : thread, string ; — de métal, — de fer : wire ; sans — : wireless
filet : small thread, string, filament, (*bot.*) fillet
filon : vein, dyke
fini : finite
flacon : flagon, small bottle
flagellés : flagellata
flèche : arrow
flocon : flake
florissant : flourishing
flotter : to float
fluor : (*chem.*) fluorine, (*min.*) fluor, fluor-spar
fluoré : containing fluorine
fluorine : (*chem.*) fluorine, (*min.*) fluorid
foie : liver
foliacé : foliaceous
folie : madness
fond : bottom, ground, basis, foundation, centre ; traiter à — : deal exhaustively with ; au — de : at the bottom *or* heart of ; de — en comble : from top to bottom
fondre : to melt down, dissolve, to cast
forcément : necessarily
fossette : dimple
fougère : fern
foule : crowd, multitude
four : oven
foyer : hearth, focus
fractionnement : dividing into fractions
franchir : to pass (over), cross, surmount
fréquenter : to keep company with
froid : cold ; à — : (when) cold
frottement : rubbing, friction
fumée : smoke ; noir de — : lamp-black
fumier : manure

fur, au fur et à mesure que: in proportion as, according as
fusion : fusion, melting, blending; point de — : melting-point
se fusionner : to amalgamate, blend, unite

galet : pebble
se garnir de : to furnish oneself with
gaufrer : to goffer, crimp
gaz : gas ; — d'éclairage : illuminating gas ; — des marais : marsh gas ; — oléfiant : olefiant gas
géant : giant
gelée : jelly
gênant : troublesome
gêner : to impede, incommode
génératrice, *fem.* of générateur : generating, generative
génie : genius
gisement : layer, bed ; —s houillers : coal-measures
gîte : deposit
glissement : slipping, sliding
glisser : to slip, slide, glide
godet : drinking-cup (*with no handle*), calyx, cup (*of a lamp*)
gomme : gum
gonfler : to swell
goudronneux : tarry
goulot : neck (*of a bottle*)
goutte : drop
gouttelette : little drop
grâce : grace, favour ; demander — à : to ask pardon of, to crave quarter of ; — à : thanks to
grain : grain ; à —s fins : fine-grained
grandeur : magnitude
grandir : to grow, increase
granuleux : granulous, granular, granulated
graphiteux : graphitic
gras, *fem.* grasse : fat, fatty, oily, rich
gratuit : gratuitous
graver : to engrave, impress, imprint
gravure : engraving
grenu : granulous
grès : sandstone
grincement : grinding, grating
grisou : fire-damp
grossier : coarse, thick

hareng : herring
heure : hour ; tout à l' — : presently
homard : lobster
hormis : except
houille : coal
houiller : coal(y), carboniferous ; gisements —s : coal measures
huile : oil ; — de lin : linseed oil — de ricin : castor-oil
humecter : to wet, moisten, damp

importer, *v. imp.* : to be of importance ; peu importe : it matters little
imprimer : to (im)print, impress ; (*motion*) to give
imprimerie : printing, printing-works
inaltéré : unchanged.
inattendu : unexpected
inclinaison : inclination, (*geol.*) dip ; aiguille d' — : inclinatory needle
incolore : colourless
inconvénient : inconvenience
indice : indication, sign, mark
induire : to induce, lead, infer ; — en erreur : to lead into error
infini : infinite
infléchir : to inflect
infructueux : fruitless
ingrate : thankless
inlassable : untiring
inscrire : to inscribe
instantané : *adj.*, instantaneous *n.*, instantaneous photograph
intégrer : to integrate
iode : iodine
iodure : iodide, ioduret
isomère, isomérique : isomeric
isomérie : isomerism

jaillir : to spout (out), gush (out)
jauge : gauge, gauging-rod
jeu : play ; entrer en — : to come into play ; mettre en — : to bring into play
joignant : *see* joindre
joindre : to join
jouir de : to enjoy
Judée : Judea ; bitume de — : Jew's pitch
jumelle, *fem.* of jumeau : twin
jus : juice

lâcher : to let go
lacustre : lacustral, lacustrine, pertaining to a lake
lagune : lagoon
laiteux : milky
laiton : latten, brass
laitue : lettuce
lambeau : rag, shred, strip, scrap
lame : plate, sheet, lamina, blade
lamellaire : lamellar
laminage : flatting, rolling

laminer : to flat, roll
lancer : to hurl, throw
langouste : spiny lobster, sea-crayfish
large : *adj.*, broad, wide ; *n.* (*masc.*), breadth, width, offing, open sea
lavage : washing
lave : lava
lecteur : reader
léguer : to bequeath
lenteur : slowness
lenticulaire : lenticular, lentiform
lentille : (*bot.*) lentil, (*opt.*) lens
lessive : wash
levure : yeast, barm, leaven
liaison : connection
librairie : bookseller's shop
lier : to tie
lié à : bound up with
lieu : place ; au — de : instead of ; avoir — : to take place ; donner — à : to be the occasion of
ligne : line ; entrer en — de compte : to be taken into account *or* consideration
lignée : lineage, progeny
lime : file
lin : flax ; huile de — : linseed oil
linge : linen, cloth
lit : bed, (*geol.*) lamina
loge : lodge, cell, chamber
lors : then ; dès — : from that time ; — de : at the time of
lutte : struggle

mâchoire : jaw
maître : master ; en — : as a master
malaxer : to work up
Manche, la : the English Channel
manœuvre : handling
marais : marsh ; fer des — : bog iron (ore)
mare : pool, pond
marée : tide
marne : marl, chalk, clay
marteler : to hammer
massicot : massicot, masticot
massif : *adj.*, massive ; *n.*, group
méconnu : unacknowledged
médian : median, middle, mesial
mélange : mixture
mélanger de : to mix with
mêler à : to mix with
mère : mother ; eau — : mother-water
métier : business, calling
meuble : movable
meule : millstone, sun-fish
meut : *see* mouvoir
mica : mica, glimmer, glist, Muscovy glass
micacé : micaceous
midi : south
miel : honey
milieu : middle, environment
mince : thin
minerai : ore
mise : laying, placing
mobile : motive power, mover
moelle : marrow, pith, medulla
mœurs : manners, morals, habits, ways
moindre : less
moisissure : mouldiness, mustiness
moitié : half
mollissement : softening
morcellement : parcelling out
mort : *adj.*, dead ; *n.*, death
mortier : mortar
morue : cod(fish)
moteur, *fem.* motrice : motive
mou, *fem.* molle : soft
mouche : fly
mouler : to mould ; se — sur : to frame by
mousse : moss, froth
mouvoir : to move
moyen : *n.*, means ; au — de : by means of ; *adj.*, mean, average
mue : moulting, slough
muet : mute, silent
munir de : to provide with
mûr : ripe
mûrir : to ripen, mature

nappe : (table-)cloth, sheet
neigeux : snowy
Néogène : neogene strata
net, *fem.* nette : clean, neat, sharp, clear
nid : nest
niveau : level ; — du mer : sea-level
nœud : knot, node
noir : *adj.*, black ; *n.*, black ; — animal : animal charcoal ; — de fumée : lampblack
noyau : nucleus, core
noyer : to drown
nu : naked ; mettre à — : to lay bare
nuisible : injurious
numéroter : to number

s'occuper de : to busy oneself with
ocreux : ochreous
œuvre : work
oligiste : oligist ; fer — : hæmatite
onde : wave

ondulé : undulating
Orchidées : Orchidaceæ
ordonnée : ordinate
orge : barley
orientation : orientation, direction
osé : bold
osseux : bony
oubli : oblivion
ouïe : hearing
outil : tool
outre : beyond ; en — : moreover
ouverture : opening
ouvrage : work
s'oxyder : to be *or* become oxidized
oxydule : protoxide
ozocérite : ozocerite, ozokerite, paraffin wax

paille : straw
paillette : spangle, (*geol.*) flake
panse : paunch, belly
papeterie : paper-trade
paraffiné : containing paraffin
parage : latitude, quarter
parcelle : particle, portion
parcours : line *or* distance travelled over
paresse : idleness
parfois : sometimes
paroi : wall
parsemer : to strew, spread, besprinkle
part : part, share ; quelque — : somewhere
partager : to distribute, portion, divide
partant : therefore
partir : to set out ; à — de : starting from
pas : step
pâte : paste, dough, (*geol.*) magma
pâteux : doughy, clammy
patte : paw, (*of birds*) foot
peinture : painting
pellicule : pellicle
pénible : painful
percer : to pierce
perçu : perceived
perforé : perforated
perte : loss
pesanteur : weight ; (*phys.*) force of gravity, gravity
pesée : weighing
peser : to weigh
peu : little, few ; pour — que : in so far as . . . the least bit
peupler : to people, populate
Phanérogame : phanerogamic plant
phlogistique : phlogiston
phrygane : water-fly
phyllade : phyllite
physicien : physicist
pile : pile, heap, (*phys.*) battery
piler : to pound
pilon : pestle, stamper
pinceau : pencil, brush
plan : plan, ground, perspective ; personnage de premier — : prominent personality
plaque : plate, slab
plateau : tray, disc
platine : platinum ; mousse de — : platinum sponge
pleinement : fully
pli : fold
plissé : (*geol.*) folded
plissement : folding, (*geol.*) fold
plomb : lead
poids : weight ; — spécifique : specific gravity
poil : hair
point : point ; — d'appui : fulcrum — de départ : starting-point
pointe : point
pointu : pointed
poire : pear
poisson : fish
pompe : pump ; — à vide : vacuum pump
ponte : laying of eggs
portée : range
poser : to place, set, lay down, to suppose, admit ; — un problème : to state a problem ; ceci posé : this being assumed
potasse : potash
pouce : inch
poudingue : pudding-stone
poudre : powder, dust
poule : hen
pourtour : periphery, circumference
pourvu de : provided with
poussée : pushing, thrust
pousser : to push, to extend
préalable : previously necessary, previous ; au — : previously, first of all
préalablement : previously, first of all
près : near ; de plus — : more closely ; à très peu — : very nearly
pressentir : to have a presentiment of
prétendre : to claim
preuve : proof
prévoir : to foresee
principe : principle
prise : taking ; donner — à : to give a hold to ; aux —s avec : at grips with, struggling with
prix : prize, price, value

procédé : procedure, process
produit : product
proie : prey
projeter : to project
propice : propitious
se prosterner : to prostrate oneself, to fall down
protecteur : protecting
provenir : to issue, proceed from
provisoirement : provisionally
puiser : to draw
puissant : powerful
puits : well

que de : how many
quelconque : whatever ; une partie — : any part whatever
quelque : some ; — part : somewhere
queue : tail

rabaisser : to lower
raccourcir : to shorten
racine : root
raconter : to narrate, tell
raie : streak, stripe, line
raisin : grape
raison : reason, right ; en — de : by reason of, in consideration of
rameau : branch
ramener : to bring back to
rançonner : to ransom
randonnée : peregrination
rang : row, range, rank, class, order
ranger : to range, arrange, rank
rappel : recall ; vis de — : adjusting screw, draw-screw
rappeler : to recall
rapport : report, bearing, correspondence, ratio, proportion ; par — à : with relation to ; sous ce — : in this respect
rapporter à : to refer to ; se — à : to refer to, to be related to
se rapprocher de : to approach
rattacher : to connect, attach : se — à : to be connected with
rayé : striped, streaked
rayonnant : radiant
rayonnement : radiance, radiation
rebâtir : to rebuild
rebondir : to rebound
rebord : border, ledge, brim
recéler : to conceal, contain
réchauffement : warming up
recherche : research
récif : reef ; — corallien : coral reef
récolte : harvest
se recouper : to intersect again
recourber : to bend round, make crooked
recourir à : to have recourse to
recours : recourse
recueillir : to gather
reculer : to pull back, put back, extend
réduite : reduced equation
reflet : reflection, reflex
refoulement : driving *or* forcing back, ebbing
refouler : to drive back
refroidir : to get cold again
refroidissement : cooling
régir : to govern
régler : to regulate
rein : kidney, *pl.* loins, back
rejeter : to reject
rejoindre : to rejoin
relier : to bind again, to connect se — à : to be in connection with
remettre : to put again, put back (again), reinstate
remis, *past part.* of remettre
remonter : to remount, reascend, to go back ; — de : to provide with
remuer : to move, stir
rencontre : meeting ; faire — de : to meet with
rendement : yield
renfler : to swell (out)
renier : to deny, disown
renommée : fame
renoncer à : to renounce, give up the idea
renseigner : to inform, instruct
rentrer : to enter again, to return ; faire — : to drive in
renverser : to reverse, turn upside-down, upset
répandre : to spread
répartir : to distribute, divide, portion out
répartition : distribution, division
reprise : resumption, repetition ; à plusieurs —s : several times, repeatedly
réseau : net (-work), (*anat.*) plexus
ressentir : to feel
ressort : spring, elasticity
ressortir : to go out again, to be set off ; faire — : to bring out
résumé : summary ; en — : to sum up
retentir : to resound
retirer : to withdraw, recover, extract
retour : return ; faire — : to return
retrancher : to retrench, curtail, cut short, take away, deduct

revanche : revenge ; en — : in return
réveil : reawakening
revenir : to return ; cela revient à dire : that is tantamount to saying
réverbère : reflector, reverberatory plate
rhabiller : to dress again
ricin : palma Christi, ricinus communis ; huile de — : castor-oil
rigueur : rigour ; à la — : strictly (speaking)
ringard : fire-iron
rivage : shore
roche : rock
roder : to polish, grind, lap
rotacé : rotate(d)
rouge : red ; au — : at red heat ; au — blanc : at a white heat, welding-hot, incandescent ; — sombre : dark red ; — vif : bright red
rubéfier : to rubify

sable : sand
sableux : sandy
saccade : jerk ; par —s : by fits and starts
sache, subj. pres. of savoir ; que je — : so far as I know, to my knowledge
saillant : salient
saillie : jutting out, prominence
saisonnier : seasonable
salé : salt(ed), briny
salir : to dirty, soil
saltatoire : saltatory
salure : saltness, brine
sauf : saving, except for
saumon : salmon
savoir : to know, namely
savon : soap
sceller : to seal
schiste : shale, slate, schist ; — argileux : shale ; — ardoise : slate ; — crystallin : schist
scinder : to divide, separate, split
scission : splitting, division
scolie : scholium
séance : sitting
sécréteur : secretory
sein : breast, bosom ; au — de : at the heart of
séjour : stay, abode, habitation
séjourner : to sojourn, stay
sel : salt
semence : seed
sens : sense, direction ; en — inverse : in a contrary direction
serpentin : *adj.*, serpentine ; *n.*, worm (*of a still*)
serpentine : serpentine-stone, (*bot.*) ophioxylon, snakewood
serré : close, compact, (*bot.*) serrate(d)
serrer : to press, tighten, condense, close
servir : to serve ; il ne sert de rien de : it is no use ; se — de : to make use of
siège : seat
sifflet : whistle
signaler : to signalize, point out
silice : silica
sillon : furrow, groove
sinus : (*anat.*) sinus, (*math.*) sine
sirupeux : syrupy
soie : silk
soit ! be it ! be it so ! very well then !
soixantaine : sixty years of age
sol : soil
son : sound
songer à : to think of
sort : fate
sortie : exit, outlet
sottise : foolishness, folly
souche : stump, stem, (*bot.*) subterranean stock
soucieux : full of care
soude : soda
souder : to solder, weld
soufre : sulphur ; — en fleurs : flowers of sulphur
se soulever : to rise
soupape : valve, plug
soustraire : to take away, remove, to subtract
souterrain : subterranean
souvenir : recollection
spectre : spectrum
squelette : skeleton
stade : stadium, stage
stannifère : stanniferous
strate : stratum
subir : to undergo
suc : juice, essence
sucre : sugar
sucré : sugared, sweet
sud : *adj.* south(erly) ; *n.*, South
suggérer : to suggest
suite : sequel ; à la — de : following ; de — : one after another ; par — : in consequence
sulfure : sulfuret
sulfuré : sulphuretted
supprimer : to suppress
surbaissé : surbased
surchauffer : to superheat
sureau : elder(-tree)

surnager : to float on the surface, to survive
surnaturel : supernatural
survenir : to supervene, come on

tache : spot
taille : waist, stature, height, size
taire : to be silent ; faire — : to silence
talus : slope
tampon : plug, stopper, pad
tard : late ; sur le — : towards the end
tarder : to delay, put off, to be long
taux : rate
teinte : tint
témoigner de : to witness to
témoin : witness
tenace : tenacious
tenir : to hold ; — à : to come from ; s'en tenir : to rely on, adhere to, stick to ; à quoi tiennent-elles ? what causes them ?
tentative : attempt
tenter : to attempt
terme : term, limit
ternir : to tarnish
terrain : ground, formation
terreau : vegetable mould, compost
terreux : terreous, earthy
tige : stem
tirer : to draw, to tend
titration : titration, volumetric analysis
titre : title
toiture : roofing
tome : volume
tordre : to twist
touffu : tufted, bushy, branchy
tour : turn, winding
tourbe : peat
tournure : chips
tout : all ; — le monde : everybody ; — à l'heure : presently
toutefois : nevertheless
tracé : laying out, outline, sketch, direction, line
trahir : to betray
train : pace, rate, train
traînée : train, trail, trace
trait : stroke, feature
traité : treatise
traiter : to deal with
trajectoire : trajectory
trajet : passage, course, direction
tranchant : *adj.*, sharp, cutting ; *n.*, edge
à travers : across
traverser : to cross
tremper : to soak, dip, steep ; to temper (*iron and steel*)
trompe : proboscis, trunk
tronc : trunk, stem, (*geom.*) frustrum
trop : too much, too many ; de — : too much, too many, over
trouble : troubled, thick, muddy
tuf : tuff, tuf(a)
tuyau : pipe, tube

usité : usual, in use

vacuole : vesicle
vague : wave
vaillamment : valiantly
vaincre : to vanquish, overcome
valence : valency
valeur : value
vase : *m.*, vase, vessel ; *f.*, slime, mud
végétal : vegetable
vendange : vintage
ver : worm
verdâtre : greenish
verdir : to grow green, to become green
verge : rod, handle
verni : varnished, glazed
vertu : virtue ; en — de : by virtue of, in pursuance of
vide : void, vacuum ; à — : empty
vierge : virgin
vif : lively, brilliant, bright
virer : to turn (about)
virgule : comma
vis : screw
vitreux : glassy
vivant : living, alive, lifetime ; du — de : while — was alive
voie : road, way
voiler : to veil
voir : to see ; faire — : to show
voisinage : vicinity, neighbourhood
volonté : will ; à — : at pleasure
vouer : to vow
voulu, *see* vouloir ; au moment — : at the proper moment
voûte : vault
vraisemblablement : probably

zoné : zoned

Printed in Great Britain by
Butler & Tanner Ltd.,
Frome and London